



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona

Departament d'Enginyeria del Terreny, Cartogràfica i Geofísica



TESI DE DOCTORAT EN ENGINYERIA DEL TERRENY

RECONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE OCURRENCIAS REGIONALES DE MÚLTIPLES EVENTOS DE MOVIMIENTOS EN MASA GENERADOS POR LLUVIAS HISTÓRICAS EN LOS PIRINEOS

Autor:

MODESTO EUSEBIO PORTILLA GAMBOA

Directores:

JORDI COROMINAS DULCET

MARCEL HÜRLIMANN

Barcelona, Septiembre de 2014

DEDICATORIA

A mis Padres: María Emilia Gamboa Maldonado y Modesto Portilla Arias (en homenaje póstumo).

A las mujeres de mi vida: Luisa Villamizar Caballero (Novia y Esposa), Mayra Alejandra, Laura Juliana, Jennifer Vanessa, Luisa Fernanda y Molly; quienes casi que únicamente me han visto leer-escribir.

A todas aquellas personas que se interesen por leer este documento y les sirva de algo.

Done

AGRADECIMIENTOS

El Autor de este trabajo de investigación, expresa sus más sinceros agradecimientos a:

Jordi Corominas Dulcet: *No únicamente por la Dirección de la Tesis, sino principalmente por la orientación, paciencia y comprensión en los momentos difíciles del desarrollo del Doctorado.*

Marcel Hürlimann Ziegler: *No únicamente por la Co-Dirección de la Tesis, sino principalmente por estar pendiente permanentemente del estado de avance de la misma.*

Octavio Cárdenas Díaz: *Por la amistad y apoyo cuando lo necesité estando en Barcelona.*

Samuel França Amorim: *Por haberme ayudado a interesarme en las ventajas de trabajar con Sistemas de Información Geográfica.*

John Jairo Sánchez Aguilar: *Profesor del Departamento de Geociencias – Universidad Nacional de Colombia (Bogotá), por la invaluable ayuda en la redacción de este documento.*

A los amigos en Catalunya: *Lluïset Domènech y Jazmín, Vicky Salvat, Jaume Vilaplana y Maria Rosa Mars, Albert Vilanova y Valérie Van de Walle.*

A quienes me ayudaron con Beca (Fundación Carolina), Crédito-Beca (COLFUTURO) y a la Universidad Nacional de Colombia por todo el apoyo prestado durante la duración del Doctorado.

Done

RESUMEN

Los movimientos en masa son procesos geológicos que modelan el paisaje, su ocurrencia indica susceptibilidad a la inestabilidad del terreno y cuando afectan a los seres humanos, sus bienes y servicios, ocasionan pérdidas económicas que impactan su nivel de vida y el desarrollo económico de una región. Las lluvias son el agente externo que comúnmente genera desestabilizaciones del terreno, siendo las de alta intensidad y corta duración las responsables de la ocurrencia de deslizamientos superficiales y corrientes de derrubios.

La caracterización tanto del terreno como de las lluvias, así como de las interacciones entre ellos, permite definir las zonas donde es más factible la ocurrencia futura de movimientos en masa. Numerosos fenómenos de este tipo casi siempre ocurren simultáneamente en áreas extensas, donde además de existir materiales propensos a la desestabilización, la topografía es abrupta; lo cual representa una amenaza múltiple de difícil manejo por parte de las autoridades locales, máxime cuando la extensión de la afectación sobrepasa los límites administrativos y gubernamentales. Estos eventos de múltiple ocurrencia, aunque descritos en varios estudios de determinación de umbrales de lluvias detonantes, recientemente han sido denominados en la literatura especializada, MORLE por sus siglas en inglés (Multiple-Occurrence of Regional Landslides Events). Una adecuada gestión de la atención de estos eventos, requiere el conocimiento de los que han ocurrido en el territorio, su caracterización y análisis. Sin embargo, hay ocasiones en que por diferentes razones no se pueden documentar inmediatamente como sería lo indicado. En

estos casos, es necesario realizar la reconstrucción de lo ocurrido, recopilando la mayor cantidad de información para su posterior uso en la zonificación de la susceptibilidad del terreno a movimientos en masa y su posterior uso en la evaluación de la amenaza y gestión integral del riesgo.

En este documento de Tesis Doctoral, se presenta la recopilación, reconstrucción y análisis de los inventarios de movimientos en masa (MM) y los campos de lluvias para tres eventos históricos en los Pirineos, de los que se tenía poco conocimiento: Molló-Queralbs (octubre de 1940), Barruera-Vielha (agosto de 1963) y Berga-Cercs (junio de 2008). De éstos se recopiló información a partir de fuentes secundarias, fotografías aéreas de las respectivas épocas y se obtuvieron los inventarios de movimientos en masa mediante la digitalización de las cicatrices de las roturas con el uso de sistemas de información geográfica (ArcGIS®). En Molló-Queralbs se identificaron 620 MM en un área de 412 km²; en Barruera-Vielha un total de 207 MM en 504 km² y en Berga-Cercs 224 cicatrices en 20 km²; por lo que los tres casos corresponden a ocurrencias regionales de múltiples eventos de MM (MORLE).

El desarrollo de la investigación se centró en recopilar, reconstruir y analizar los datos relevantes de los tres casos de estudio, con el fin de emplear esta información en el análisis de relaciones entre factores que predispusieron, prepararon y desencadenaron numerosos MM en áreas de gran extensión. Se analizaron las relaciones magnitud-frecuencia de MM inventariados y su distribución espacial; se realizó el análisis de las lluvias generadoras de dichos movimientos a partir de los datos registrados por las estaciones meteorológicas existentes en las respectivas épocas y se calcularon los mapas digitales de

precipitación (campos de lluvias); y, finalmente se calculó la relación entre las distribuciones espaciales de las lluvias y los MM.

La implementación de métodos estadísticos, que incluyen el Estimador de Máxima Verosimilitud (EMV), permitió definir una metodología para inferir la distribución que mejor se ajusta a la de los datos de inventarios de MM. Siguiendo esta metodología, con las dificultades que implican la calidad de las fotografías aéreas, su pequeña escala que dificulta la detección y digitalización de las cicatrices, la revegetación de cicatrices con el tiempo y que por tanto no aparecen en el registro fotográfico conllevando a la cautela con respecto a la completitud del inventario obtenido. Para el caso de los tres MORLE analizados fue posible definir que una distribución tipo Wakeby explica bien las distribuciones de los datos analizados.

Adicionalmente, el análisis de las relaciones entre variables intrínsecas del terreno, la distribución de los MM inventariados y el campo de lluvias, sirvió para concluir que tanto las formaciones superficiales como la pendiente del terreno son los condicionantes para la ocurrencia de roturas en las tres zonas de estudio; y que el uso actual del suelo es de especial importancia documentarlo para soportar mejor el análisis de los eventos.

La importancia de este estudio radica en la documentación y reconstrucción muchos años después de la ocurrencia de fenómenos MORLE en los Pirineos, utilizando fotografías aéreas y registros de lluvias. Eventos que nunca antes habían sido documentados y que representan una contribución a la definición de umbrales desencadenantes de MM y a la comprensión de los factores condicionantes del terreno para el establecimiento de sistemas de alerta temprana y a la mitigación del riesgo en estas tres importantes zonas de

Catalunya. Finalmente, se recomienda contar con mapas de formaciones superficiales y sus respectivas características (espesor, materiales constituyentes y caracterización geotécnica) y se establece como futura línea de investigación la integración de esta información primaria con inventarios completos de movimientos en masa, para la determinación de umbrales de lluvias detonantes en los Pirineos Catalanes.

RESUM

Els moviments en massa són processos geològics que modelen el paisatge, la seva ocurrència indica susceptibilitat a la inestabilitat del terreny i quan afecten els éssers humans, els seus béns i serveis, ocasionen pèrdues econòmiques que impacten el seu nivell de vida i el desenvolupament econòmic d'una regió . Les pluges són l'agent extern que comunament genera desestabilitzacions del terreny, sent les d'alta intensitat i curta durada les responsables de l'ocurrència d'esllavissades superficials i corrents d'arrossegalls.

La caracterització tant del terreny com de les pluges, així com de les interaccions entre ells, permet definir les zones on és més factible l'ocurrència futura de moviments en massa. Nombrosos fenòmens d'aquest tipus gairebé sempre ocorren simultàniament en àrees extenses, on a més d'existir materials propensos a la desestabilització, la topografia és abrupta; la qual cosa representa una amenaça múltiple de difícil maneig per part de les autoritats locals, més quan l'extensió de l'afectació sobrepassa els límits administratius i governamentals. Aquests esdeveniments de múltiple ocurrència, encara descrits en diversos estudis de determinació de llindars de pluges detonants, recentment han estat denominats en la literatura especialitzada, MORLE per les sigles en anglès (Multiple-Occurrence of Regional Landslides Events). Una adequada gestió de l'atenció d'aquests esdeveniments, requereix el coneixement dels que han ocorregut en el territori, la seva caracterització i anàlisi. No obstant això, hi ha ocasions en que per diferents raons no es poden documentar immediatament com seria l'indicat. En aquests casos, cal realitzar la reconstrucció del que ha passat, recopilant la major quantitat d'informació per al seu posterior ús en la zonificació de la susceptibilitat del terreny a moviments

en massa i el seu posterior ús en l'avaluació de l'amenaça i gestió integral del risc.

En aquest document de Tesi Doctoral, es presenta la recopilació, reconstrucció i anàlisi dels inventaris de moviments en massa (MM) i els camps de pluges per tres esdeveniments històrics als Pirineus, dels quals es tenia poc coneixement: Molló-Queralbs (octubre de 1940), Barruera-Vielha (agost de 1963) i Berga-Cercs (juny de 2008). D'aquests es va recopilar informació a partir de fonts secundàries, fotografies aèries de les respectives èpoques i es van obtenir els inventaris de moviments en massa mitjançant la digitalització de les cicatrius dels trencaments amb l'ús de sistemes d'informació geogràfica (ArcGIS ®). A Molló-Queralbs es van identificar 620 MM en una àrea de 412 km²; a Barruera-Vielha un total de 207 MM en 504 km² i a Berga-Cercs 224 cicatrius en 20 km²; de manera que els tres casos corresponen a ocurrències regionals de múltiples esdeveniments de MM (MORLE).

El desenvolupament de la investigació es va centrar en recopilar, reconstruir i analitzar les dades rellevants dels tres casos d'estudi, per tal d'emprar aquesta informació en l'anàlisi de relacions entre factors que van predisposar, van preparar i van desencadenar nombrosos MM en àrees de gran extensió. Es van analitzar les relacions magnitud-freqüència de MM inventariats i la seva distribució espacial; es va realitzar l'anàlisi de les pluges generadores d'aquests moviments a partir de les dades registrades per les estacions meteorològiques existents en les respectives èpoques i es van calcular els mapes digitals de precipitació (camps de pluges); i, finalment es va calcular la relació entre les distribucions espacials de les pluges i els MM.

La implementació de mètodes estadístics, que inclouen l'Estimador de Màxima Versemblança (EMV), va permetre definir una metodologia per a inferir la distribució que millor s'ajusta a la de les dades d'inventaris de MM. Seguint aquesta metodologia, amb les dificultats que impliquen la qualitat de les fotografies aèries, la seva petita escala que dificulta la detecció i digitalització de les cicatrius, la revegetació de cicatrius amb el temps i que per tant no apareixen en el registre fotogràfic comportant a la cautela pel que fa a la completeness de l'inventari obtingut. Per al cas dels tres MORLE analitzats va ser possible definir que una distribució tipus Wakeby explica bé les distribucions de les dades analitzades.

Adicionalment, l'anàlisi de les relacions entre variables intrínseques del terreny, la distribució dels MM inventariats i el camp de pluges, va servir per concloure que tant les formacions superficials com el pendent del terreny són els condicionants per l'ocurrència de trencaments en les tres zones d'estudi; i que l'ús actual del sòl és d'especial importància documentar per suportar millor l'anàlisi dels esdeveniments.

La importància d'aquest estudi rau en la documentació i reconstrucció molts anys després de l'ocurrència de fenòmens MORLE als Pirineus, utilitzant fotografies aèries i registres de pluges. Esdeveniments que mai abans havien estat documentats i que representen una contribució a la definició de llindars desencadenants de MM i a la comprensió dels factors condicionants del terreny per a l'establiment de sistemes d'alerta primerenca i la mitigació del risc en aquestes tres importants zones de Catalunya. Finalment, es recomana comptar amb mapes de formacions superficials i les seves respectives característiques (gruix, materials constituents i caracterització geotècnica) i s'estableix com a

futura línia d'investigació la integració d'aquesta informació primària amb inventaris complets de moviments en massa, per a la determinació de llindars de pluges detonants als Pirineus Catalans.

Micue

ABSTRACT

Mass movements (MM) are geological processes that modify the landscape. Their occurrence indicates susceptibility to ground instability, causing economic loss whenever they affect humans and their properties and utilities, affecting the quality of life and the economic development of a region. Rains are the external agent commonly generating slope instability, with those of high intensity and short duration the ones responsible for the occurrence of shallow landslides and debris flows.

The characterization of the terrain and rainfall as well as their interactions allows determining the zones where occurrence of MM is most plausible. Multiple slope failure may occur simultaneously over large areas, where besides the existence of susceptible materials there exist an abrupt topography. All together is difficult to be managed by the local authorities, especially when the extent of the affected area is well beyond administrative and government capabilities. These events of multiple landslide occurrence, although described in several studies related to the determination of landslide triggering rainfall thresholds, have been recently named in the specialized literature as MORLE (Multiple-Occurrence of Regional Landslides Events). An adequate management in attending these events requires knowledge of the affected terrain and its characterization and analysis. There are times, however, in which, for different reasons, MM cannot be documented immediately as it should be. In these cases it is necessary to reconstruct the events, compiling as much information as possible for its subsequent use in the microzoning of terrain susceptibility to MM and its later use in hazard assessment and integral risk management.

In this Ph.D thesis the compilation, reconstruction, and analyses of inventories of MM and rain fields for three poorly-known historical events in the Pyrenees is presented: Molló-Queralbs (October 1940), Barruera-Vielha (August 1963) and Berga-Cercs (June 2008). Information on these events was compiled from secondary sources and aerial photographs and the MM inventories were prepared by digitizing the of rupture scars using ArcGIS[®]. In the Molló-Queralbs area a total of 620 MM were mapped within 412 km²; in Barruera-Vielha a total of 207 MM within 504 km² and in Berga-Cercs 224 scars within 20 km²; which resulted in their characterization as MORLE events.

The research work focused on compiling, reconstructing and analyzing relevant data on the three case studies, with the aim of using this information in the analysis of relationships among the factors that predisposed, prepared and triggered the numerous MM in these large areas. The frequency-magnitude functions and the spatial distribution of MM inventories were analyzed; the analyses of generating rains for MM were performed from data recorded by the existing meteorological stations during the three time periods; digital maps of precipitation (rain fields) were calculated; and finally the relationship between spatial distribution of rains and MM was calculated.

Implementation of statistical methods, including the Maximum Likelihood Method, allowed defining a methodology to infer the best-fitting distribution to MM inventories. In following this methodology several difficulties were met: quality of aerial photographs and their small coverage (which makes difficult to detect and digitize rupture scars), the vegetation cover that develops with time (which masks MM in the photographic records), which in turn implies to cautiously take the completeness of MM inventories. In the three MORLE

events analyzed it was possible to determine that a Wakeby-type distribution best explains the data.

Additionally, the analyses of relationships among intrinsic terrain variables, and the inventories of MM and their rain fields, were used to conclude that both surface formations and terrain slope are conditionants for MM occurrence within the three study areas; and that the current land use bears special relevance when analyzing these events.

The importance of this study lies on the a posteriori documentation and reconstruction of never-before-reported MORLE phenomena in the Pyrenees, using aerial photographs and precipitation records. The study represents a contribution to the quantification of triggering thresholds for MM and understanding conditioning terrain factors for the establishment of early warning systems and risk mitigation in these three important regions of Catalonia. Finally, recommendations are made for the construction of surface formations maps with information on thickness, constituting materials, and geotechnical characterization. A line of research about integrating this primary information with complete inventories of MM is established, to determining triggering rainfall thresholds in the Catalanian Pyrenees.

JJSA

Tabla de Contenido

DEDICATORIA.....	1
AGRADECIMIENTOS	2
RESUMEN	3
RESUM	7
ABSTRACT	11
Lista de Figuras	19
Lista de Tablas	27
Lista de Fotos	29
1 INTRODUCCIÓN	31
2 ESTADO DEL ARTE	34
2.1 Relación lluvia – movimientos en masa	34
2.2 Inventarios de movimientos en masa	40
2.3 Análisis de datos de inventarios de movimientos en masa	41
2.4 Análisis de datos meteorológicos	43
2.5 MORLE´s	47
3 OBJETIVOS Y METODOLOGÍA	51
3.1 OBJETIVOS	51
3.1.1 Objetivo principal	51
3.1.2 Objetivos específicos	51

3.2	METODOLOGÍA	52
3.2.1	Recopilación de Información sobre movimientos en masa	52
3.2.2	Análisis de fotografías aéreas y ortofotomapas	53
3.2.3	Digitalización y cálculo de áreas de movimientos en masa	58
3.2.4	Análisis estadístico de los datos	59
3.2.5	Construcción del campo de densidad de roturas	63
3.2.6	Construcción del mapa digital de precipitación	65
3.2.7	Correlación entre campo de densidad de roturas y precipitación .	66
4	RECONSTRUCCIÓN DE LOS MORLE DE MOLLÓ-QUERALBS, BARRUERA-VIELHA Y BERGA-CERCS	68
4.1	Molló-Queralbs	70
4.1.1	Sustrato rocoso	71
4.1.2	Geología estructural	75
4.1.3	Rasgos morfológicos y formaciones superficiales	77
4.1.4	Reconstrucción de los eventos	88
4.1.5	Discusión	131
4.2	Barruera – Vielha	142
4.2.1	Sustrato rocoso	144
4.2.2	Depósitos	145
4.2.3	Rasgos morfológicos y formaciones superficiales	147
4.2.4	Reconstrucción de los eventos	148
4.2.5	Discusión	177

4.3	Berga – Cercs	180
4.3.1	Sustrato rocoso.....	182
4.3.2	Depósitos.....	185
4.3.3	Geología estructural	185
4.3.4	Rasgos morfológicos y formaciones superficiales	186
4.3.5	Resultados.....	188
4.3.6	Discusión	209
CONCLUSIONES.....		211
RECOMENDACIONES y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN		215
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		216
ANEXOS		248
Anexo 1. Inventario preliminar de eventos lluviosos y movimientos en masa (Cataluña y Andorra).		249
Anexos: Zona Molló-Queralbs		254
Anexo 2. Inventario de movimientos en masa del área Molló-Queralbs (DS: Deslizamiento Superficial; CD: Corriente de Derrubios).		254
Anexo 3. Distribuciones teóricas para los datos de movimientos en masa de Molló-Queralbs		267
Anexo 4. Ranking de la bondad del ajuste para las distribuciones teóricas de los datos de movimientos en masa de Molló-Queralbs		271
Anexo 5. Base de datos del campo de densidad de roturas de Molló- Queralbs		275

Anexo 6. Distribuciones teóricas para el campo de densidad de roturas del área Molló-Queralbs	284
Anexo 7. Ranking de la bondad del ajuste para las distribuciones teóricas del campo de densidad de roturas de Molló-Queralbs	288
Anexo 8. Precipitación promedio por km ² – Molló-Queralbs	292
Anexo 9. Distribuciones teóricas para el campo de precipitación promedio por km ² del área Molló-Queralbs	301
Anexo 10. Ranking de bondad del ajuste para las distribuciones teóricas de la precipitación promedio por km ² del área Molló-Queralbs	305
Anexo 11. Relación entre los campos de densidad de roturas y precipitación del área Molló-Queralbs.....	309
Anexo 12. Relación entre la precipitación promedio, la densidad de movimientos en masa y la pendiente topográfica para el área Molló-Queralbs	313
Anexos: Zona Barruera-Vielha.....	322
Anexo 13. Litología Barruera-Vielha (ITGE, 1994)	322
Anexo 14. Inventario de movimientos en masa de Barruera-Vielha (DS: Deslizamiento Superficial, CD: Corriente de Derrubios)	334
Anexo 15. Distribuciones teóricas para el campo de precipitación promedio por km ² del área Barruera-Vielha	337
Anexo 16. Ranking de la bondad del ajuste para las distribuciones teóricas de los datos de movimientos en masa de Barruera-Vielha.....	341

Anexo 17. Distribuciones teóricas para el campo de densidad de roturas de Barruera-Vielha.....	344
Anexo 18. Ranking de la bondad del ajuste para las distribuciones teóricas del campo de densidad de roturas datos de movimientos en masa de Barruera-Vielha.....	348
Anexo 19. Número de roturas por sustrato rocoso – Barruera-Vielha	352
Anexo 20. Base de datos mapa digital de precipitación Barruera-Vielha ...	356
Anexo 21. Parámetros de las distribuciones teóricas para la precipitación promedio de Barruera-Vielha.....	377
Anexos: Zona Berga-Cercs.....	381
Anexo 22. Inventario de movimientos en masa de Berga-Cercs	381
Anexo 23. Parámetros de las distribuciones teóricas para el campo de densidad de movimientos en masa de Barruera-Vielha	391
Anexo 24. Ranking de las primeras diez (10) distribuciones teóricas para el campo de densidad de roturas de Berga-Cercs	395
Anexo 25. Parámetros de las distribuciones teóricas para el campo de precipitaciones de Berga-Cercs.....	396
Anexo 26. Ranking de bondad del ajuste del campo de lluvias de Berga-Cercs	400

Lista de Figuras

Figura 3.1 Fotograma del área Molló Queralbs. Servicio Geográfico del Ejército 1956/1957	55
Figura 3.2 Fotograma del área Barruera-Vielha de 1975. ICC/IGN.....	56
Figura 3.3 Fotograma del vuelo 2001-102 del área Berga-Cercs.....	57
Figura 4.1 Localización del área de estudio	68
Figura 4.2 Rasgos geográficos del área de estudio.	69
Figura 4.3 Mapa de unidades tectónicas del Pirineo (ITGE, 1994).	69
Figura 4.4 Localización del área Molló-Queralbs y referentes geográficos de los alrededores (ICC, 2014).....	70
Figura 4.5 Planchas geológicas del área Molló-Queralbs	71
Figura 4.6 Mapa litológico del área Molló-Queralbs	72
Figura 4.7 Esquema estructural de la zona oriental de los Pirineos Meridionales Orientales (ITGE, 1994).	76
Figura 4.8 Esquema estructural de las unidades tectónicas alpinas del área Molló-Queralbs (ITGE, 1994).	76
Figura 4.9 Relieve de lomeríos al E de Camprodón y S de Rocabrúna (ICC, 2010)	78
Figura 4.10 Relieve de sierras E-W (ICC, 2010)	78
Figura 4.11 Relieve de sierras N-S y línea de crestas pirenaicas (ICC, 2010). ..	79
Figura 4.12 Mapa geomorfológico y de formaciones superficiales del área Molló-Queralbs (ITGE, 1994)	81
Figura 4.13 Tipología de movimientos en masa del área Molló-Queralbs. Números explicados en el texto	93

Figura 4.14 Mapa geológico e inventario de movimientos en masa del área Molló-Queralbs	94
Figura 4.15 Diagrama de barras del inventario de movimientos en masa con respecto al área de la cicatriz.	95
Figura 4.16 Sitios geográficos del área Molló-Queralbs (ICC, 2014)	95
Figura 4.17 Inventario de movimientos en masa y mapa geomorfológico y de formaciones superficiales (ITGE, 1994).	96
Figura 4.18 Histograma de frecuencias del área de la rotura de los movimientos en masa del área Molló-Queralbs	97
Figura 4.19 Histograma suavizado de frecuencias del área de rotura de los movimientos en masa	98
Figura 4.20 Gráfico del método log transform para los datos de los movimientos en masa.....	99
Figura 4.21 Gráfico del método logarithmic binning para los datos de los movimientos en masa.	99
Figura 4.22 Gráfico del método logarithmic binning with normalization para los datos de los movimientos en masa.	100
Figura 4.23 Gráfico del método rank/frequency para los datos de los movimientos en masa.	101
Figura 4.24 Gráfico rank/frequency modificado para los datos de los movimientos en masa.	102
Figura 4.25 Gráfico RF para los datos de los movimientos en masa con valor de área de rotura $\geq 10.000 \text{ m}^2$	103
Figura 4.26 Gráfico RF para los datos de los movimientos en masa con valor de área de rotura $\geq 1.000 \text{ m}^2$	104

Figura 4.27 Histograma y PDF de la distribución Wakeby para los datos de movimientos en masa. Amplitud de intervalo = 1.000	105
Figura 4.28 Mapa de cobertura del suelo e inventario de movimientos en masa.	106
Figura 4.29 Zonificación del área de acuerdo a la presencia o no de formación superficial	110
Figura 4.30 Zonificación del área de acuerdo a la pendiente mayor o menor al valor crítico de 14.5°	111
Figura 4.31 Zonificación en áreas con presencia o no de formación superficial y de acuerdo al valor crítico de pendiente	113
Figura 4.32 Campo de densidad de número de movimientos en masa por km ² del área Molló-Queralbs.	114
Figura 4.33 Campo de densidad de movimientos en masa del área Molló-Queralbs (área de rotura/km ²)	114
Figura 4.34 Histograma y PDF Generalized Gamma (4P) para el campo de densidad de movimientos en masa por km ² del área Molló-Queralbs	115
Figura 4.35 Hietógrafas de las lluvias diarias registradas.	116
Figura 4.36 Registro de las lluvias del 17 de octubre de 1940, en la escuela de Saint-Laurent-de-Cerdans (T.S.V.P., 1940)	117
Figura 4.37 Campo de la precipitación total entre el 16 y el 20 de Octubre de 1940.	118
Figura 4.38 Perfiles topográfico y pluviométrico Elna-Prats de Molló-Cercs ..	120
Figura 4.39 Correlación altitud topográfica – precipitación total	121
Figura 4.40 Correlación pendiente topográfica – precipitación total	122
Figura 4.41 Correlación curvatura – precipitación total	122

Figura 4.42 Correlación distancia a la Coumelade – precipitación total	123
Figura 4.43 Correlación orientación – precipitación total.....	123
Figura 4.44 Mapa de alturas topográficas del área Molló-Queralbs	124
Figura 4.45 Mapa de pendientes.....	125
Figura 4.46 Mapa de curvatura	126
Figura 4.47 Mapa de orientación.....	127
Figura 4.48 Mapa de distancia a la Coumelade	128
Figura 4.49 Mapa digital de precipitación del área Molló-Queralbs.....	129
Figura 4.50 Histograma y PDF Wakeby para el campo de densidad de precipitación promedio por km ²	130
Figura 4.51 Relación densidad de roturas y precipitación promedio por km ²	131
Figura 4.52 Variación de la densidad de movimientos en masa con la precipitación para una pendiente entre 25° y 30°	137
Figura 4.53 Variación de la densidad de movimientos en masa con la precipitación para una pendiente entre 30° y 35°	138
Figura 4.54 Variación de la densidad de movimientos en masa con la precipitación para una pendiente entre 40° y 45°	138
Figura 4.55 Variación de la densidad de movimientos en masa con la precipitación para una pendiente entre 45° y 50°	139
Figura 4.56 Variación de la densidad de roturas con la precipitación para una pendiente entre 20° y 25°	140
Figura 4.57 Variación de la densidad de roturas con la precipitación para una pendiente entre 25° y 30°	140
Figura 4.58 Variación de la densidad de roturas con la precipitación para una pendiente entre 30° y 35°	141

Figura 4.59 Variación de la densidad de roturas con la precipitación para una pendiente entre 35° y 40°	141
Figura 4.60 Variación de la densidad de roturas con la precipitación para una pendiente entre 40° y 45°	142
Figura 4.61 Localización del área Barruera - Viellha y referentes geográficos de los alrededores (ICC, 2014)	143
Figura 4.62 Mapa litológico del área Barruera-Vielha (ITGE, 1994).....	145
Figura 4.63 Histograma de frecuencias del área de rotura de los deslizamientos superficiales y corrientes de derrubios.	151
Figura 4.64 Histograma de frecuencias del área de rotura	152
Figura 4.65 Gráfico del método LBN para el inventario de roturas.....	153
Figura 4.66 Gráfico del método RF para los datos de los movimientos en masa.	154
Figura 4.67 Gráfico RF para los datos con valor de área de rotura $\geq 2.000 \text{ m}^2$ – área Barruera-Vielha	155
Figura 4.68 Histograma y PDF Wakeby para los datos de roturas de Barruera-Vielha	156
Figura 4.69 Mapa de cobertura del suelo e inventario de movimientos en masa.	157
Figura 4.70 Mapa de zonas con y sin formación superficial.....	159
Figura 4.71 Mapa de zonas con pendiente mayor a 14.7° y menor a 14.7° ...	160
Figura 4.72 Mapa de zonas de posible ocurrencia de movimientos en masa. NOV: sin FS y pendiente menor a 14.7°, SIV: con FS y pendiente mayor a 14.7°	161

Figura 4.73 Campo de densidad de roturas del área Barruera-Vielha (el número dentro de cada cuadrícula, corresponde al número de movimientos en masa por km ²).....	162
Figura 4.74 Campo de densidad de área de rotura/km ²	162
Figura 4.75 Histograma y PDF Generalized Pareto para el campo de densidad de roturas por km ² del área Barruera-Vielha.	163
Figura 4.76 Mapa litológico e inventario de movimientos en masa de Barruera-Vielha. Convenciones geológicas como en la Figura 4.62.	164
Figura 4.77 Hietógrafas de las lluvias registradas en las estaciones meteorológicas del área Barruera-Vielha y alrededores	166
Figura 4.78 Campo de lluvias mediante kriging de los datos de las estaciones meteorológicas del NW de Cataluña y NE de Aragón.....	167
Figura 4.79 MDE - Altura topográfica	168
Figura 4.80 Mapa de pendientes.....	168
Figura 4.81 Mapa de curvatura	169
Figura 4.82 Mapa de orientación promedio	170
Figura 4.83 Mapa de distancia a la estación de Villanova.....	171
Figura 4.84 Mapa digital de precipitación del área Barruera – Vielha	172
Figura 4.85 Mapa de precipitación promedio por km ²	173
Figura 4.86 Histograma y PDF Wakeby para el campo de lluvias por km ²	174
Figura 4.87 Campo de precipitación promedio por km ² del área Barruera-Vielha (el número dentro de cada cuadrícula, corresponde a la precipitación promedio en dicha cuadrícula de 1 km x1 km).....	175
Figura 4.88 Relación campo de densidad de roturas por km ² y precipitación promedio por km ²	177

Figura 4.89 Relación precipitación y densidad de roturas para el área Barruera-Vielha	180
Figura 4.90 Localización del área Berga-Cercs (ICC, 2014)	182
Figura 4.91 Mapa geológico Berga-Cercs (ITGE, 1994)	184
Figura 4.92 Esquema tectónico regional (ITGE, 1994)	186
Figura 4.93 Mapa geomorfológico y de formaciones superficiales (ITGE, 1994)	188
Figura 4.94 Mapa de cobertura del suelo (CREAF, 1993).	194
Figura 4.95 Mapa de zonas con y sin formación superficial e inventario de movimientos en masa.	195
Figura 4.96 Mapa de pendientes menores y mayores a 15°.	197
Figura 4.97 Campo de densidad de roturas por km ²	197
Figura 4.98 Histograma y PDF del tipo Generalized Extreme Value del campo de densidad de roturas por km ²	199
Figura 4.99 Lluvias diarias y acumuladas abril 1 a junio 6 de 2008 (Santuari de Queralt)	200
Figura 4.100 MDE de la zona de estaciones meteorológicas alrededor del área Berga – Cercs (rectángulo rojo).	201
Figura 4.101 Mapa de altura topográfica.....	201
Figura 4.102 Mapa de pendientes topográficas	202
Figura 4.103 Mapa de curvatura promedio	203
Figura 4.104 Mapa de orientación.....	203
Figura 4.105 Mapa de distancia a la estación MeteoBerga.....	204
Figura 4.106 Mapa digital de precipitación total, evento lluvioso de junio 2008	205

Figura 4.107 Mapa de precipitación total promedio por km^2	205
Figura 4.108 Histograma y PDF de la distribución Error para el campo de densidad de roturas por km^2	207
Figura 4.109 Relación campo de densidad de roturas por km^2 y precipitación total promedio por km^2	208

Lista de Tablas

Tabla 3.1 Características fotografías aéreas analizadas.....	53
Tabla 3.2 Distribuciones usadas por el programa EasyFit® (http://www.mathwave.com)	62
Tabla 4.1 Resumen de los resultados obtenidos con la aplicación de los métodos log transform, logarithmic binning y logarithmic binning with normalization a los datos del inventario de roturas.	100
Tabla 4.2 Modelos de ajuste del método Rank/frequency.....	101
Tabla 4.3 Resumen de los resultados obtenidos con la aplicación de los métodos LT, LB y LBN a los datos del inventario de roturas.....	104
Tabla 4.4 Datos de densidad de movimientos en masa por tipo de cobertura del suelo.....	106
Tabla 4.5 Datos corregidos de movimientos en masa por tipo de cobertura..	109
Tabla 4.6 Datos de lluvias del 16 al 20 de octubre de 1940 del área Molló- Queralbs y alrededores (AEMET, 2010; T.S.V.P., 1940; Ribes, 1982 y Lalanne, 1990)	116
Tabla 4.7 Datos sitios geográficos, distancia a Perpignan (km.) y precipitación total (mm) de las lluvias de octubre de 1940 (Fr = Francia, Cat = Cataluña) .	119
Tabla 4.8 Datos de las variables orográficas para los sitios de las estaciones meteorológicas del área Molló-Queralbs	121
Tabla 4.9 Resumen de la relación entre pendiente topográfica y densidad de movimientos en masa para el área Molló-Queralbs	136
Tabla 4.10 Estadísticos de las líneas de regresión del método RF	154
Tabla 4.11 Datos de movimientos en masa por cobertura del suelo.....	157

Tabla 4.12 Datos de movimientos en masa corregidos por cobertura del suelo	158
Tabla 4.13 Relación pendiente topográfica y número de movimientos en masa	164
Tabla 4.14 Lluvias de Julio 26 al 3 de agosto de 1963 en el NW de Cataluña y NE de Aragón (AEMET, 2010)	166
Tabla 4.15 Valor de las variables secundarias para cada estación meteorológica.....	171
Tabla 4.16 Base de datos de la relación entre el campo densidad de roturas por km^2 , el campo de precipitación promedio por km^2 y la pendiente	175
Tabla 4.17 Movimientos en masa por tipo de cobertura de suelo	195
Tabla 4.18 Relación pendiente topográfica y número de movimientos en masa.	196
Tabla 4.19 Base de datos del campo de densidad de roturas por km^2	198
Tabla 4.20 Datos del evento lluvioso de junio de 2008	200
Tabla 4.21 Precipitación total promedio por km^2	206
Tabla 4.22 Base de datos de la relación entre el campo densidad de roturas por km^2 y el campo de precipitación total promedio por km^2	207

Lista de Fotos

Foto 4.1. Valle glaciar de Coma de Vaca en la cabecera del río Freser. (Foto: J. Coorminas).....	83
Foto 4.2 Valle glaciar (perfil transversal en artes) del Concrós, en la cuenca del río Ter. (Foto: J. Coorminas)	83
Foto 4.3 Depósito morrénico del glaciar del Concrós en lateral del sector de Setcases. (Foto: J. Corominas)	84
Foto 4.4 Rotura de los depósitos morrénicos en la cuenca de los Cortalets producida en los eventos de Octubre de 1940 y 1970, macizo del Canigó, Francia	90
Foto 4.5 Proximidades de Vernet-les-Bains antes y después del aguacero de 1940. Deposición forzada de la carga sólida por el cambio de pendiente y reducción de la velocidad. Formación de barras de bloques y gravas y ensanchamiento del lecho (régimen trenzado) (foto http://www.vernet-les-bains.fr)	91
Foto 4.6 Movimientos en masa en los Pics de Bacivers (izquierda) y la Dona (derecha). Números explicados en el texto (Foto: J. Corominas).....	108
Foto 4.7 Roquedo y canchales en el Gra de Fajol (izquierda). Número explicados en el texto (Foto: J. Corominas)	109
Foto 4.8 Formación superficial en zonas con pendiente topográfica baja (1) y alta (2), Pic de la Llosa - Roca Colom (N de Setcases). Números explicados en el texto (Foto: J. Corominas)	112
Foto 4.9 Barranco de Remáscaro en Erise, vecindad de Benasque. Una parte significativa de los depósitos acumulados en el cono de deyección corresponden al evento de Agosto de 1963. (Foto: J. Corominas)	149

Foto 4.10 Detalle del depósito morrénico de Erill-la-Vall (Foto: J. Corominas)	150
Foto 4.11 Depósito morrénico en Erill-la-Vall, valle del Noguera de Tor. Según diversos testimonios, este depósito experimentó durante el siglo XX diversas roturas que han resultado en corrientes de derrubios que alcanzaron el cono de deyección donde se encuentra la población (Raïmat et al, 2012).	150
Foto 4.12. Deslizamientos superficiales en la antigua carretera Berga Cercs (Foto: J. Corominas, 7 de Junio de 2008).	189
Foto 4.13. Flujo de tierra en el portal N del túnel de Berga (Foto: J. Corominas, 7 de Junio de 2008).	189
Foto 4.14 Flujo de tierra y deslizamientos superficiales en la ladera sur de la Serra de la Petita (Foto: J. Corominas, 7 de Junio de 2008).	190
Foto 4.15. Cicatrices de deslizamientos superficiales en los taludes de terrazas de cultivo en el flanco NW de la Serra de la Petita.	190
Foto 4.16. Detalle de deslizamiento superficial en terrazas de cultivo en el sector NW de la Serra de la Petita.	191
Foto 4.17. Deslizamientos superficiales en la parte superior del portal S del túnel de Berga.	191
Foto 4.18. Deslizamientos superficiales en el sector km 82 – Tossal de la Guardia	192
Foto 4.19. Deslizamiento superficial en el talud vial km 150,5 vía C-26.	193
Foto 4.20. Flujo de tierras en el sector SW del Serrat de Gallorsa.	193

1 INTRODUCCIÓN

Los movimientos en masa (MM) son unos de los procesos geológicos que más daños causan al ser humano, sus bienes y servicios; ellos han actuado, actúan y continuarán actuando en la modelación del paisaje terrestre y su ocurrencia indica inestabilidad del terreno (Glade y Crozier, 2005). La propensión a la inestabilidad de una ladera o de un talud depende de factores intrínsecos y extrínsecos del terreno, los que se pueden agrupar en (Glade y Crozier, 2005): a) favorecedores (factores estáticos intrínsecos que facilitan la acción efectiva de factores desestabilizantes dinámicos; ejemplo: materiales que pierden resistencia por reacciones químicas con el agua - meteorización, predisponiendo la ladera a la rotura durante una lluvia); b) preparadores (factores dinámicos que disminuyen el margen de estabilidad de una ladera sin que generen el inicio del movimiento; ejemplo: meteorización, erosión); c) detonantes (factores que producen el inicio del movimiento; ejemplo: lluvias, sismos); y, d) prolongadores (determinan el comportamiento del movimiento: duración, forma, variación, alcance; algunos pueden ser dinámicos externos como la misma lluvia, otros pueden relacionarse con el avance del movimiento en la trayectoria del mismo). La caracterización de estos factores, así como el establecimiento de sus interacciones, permite establecer la zonificación de la susceptibilidad del terreno a movimientos en masa y su posterior uso en la evaluación de la respectiva amenaza para una región de interés.

En Octubre de 1940, Agosto de 1963 y Junio de 2008 se presentaron lluvias en las regiones de Molló-Queralbs, Barruera-Vielha y Berga-Cercs, respectivamente; regiones pirenaicas y pre-pirenaicas catalanas de especial

interés por su atractivo turístico y por la población humana que allí se ha instalado. Eventos lluviosos de 24-36-72 horas son considerados de corta duración (Corominas et al, 2003); el de Molló-Queralbs/1940 duró 5 días, el de Barruera-Vielha/1963 duró 10 días y el de Berga-Cercs/2008 tuvo una duración de 7 días, por lo que exceden un poco lo entendido como lluvias de corta duración. Estos eventos, a pesar de las consecuencias catastróficas que generaron (Daumas, 1964; Soutadé, 1970; Novoa, 1984; Llasat y Puigcerver, 1992; Rico et al, 2001; Llasat et al, 2005), no fueron caracterizados ni analizados en detalle y en la literatura aparecen reportados de forma genérica (Corominas y Alonso, 1984; Hürlimann et al, 2003); no se caracterizaron las lluvias ni se establecieron las relaciones de este factor detonante con las características de los demás factores condicionantes. La caracterización y documentación a la mayor brevedad posible de estos eventos es importante con el fin de extraer información valiosa a tener en cuenta en el análisis, evaluación y mitigación del riesgo, así como en la formulación técnica de medidas de prevención de desastres.

Por lo anterior, el desarrollo de la Tesis se centró en recopilar, reconstruir y analizar los datos relevantes a los tres casos de estudio, con el fin de emplear esta información en el análisis de relaciones entre factores que predispusieron, prepararon y desencadenaron numerosos MM en áreas de gran extensión. Se analizaron las relaciones magnitud-frecuencia de MM inventariados y su distribución espacial; se realizó el análisis de las lluvias generadoras de dichos movimientos a partir de los datos registrados por las estaciones meteorológicas existentes en las respectivas épocas y se calcularon los mapas digitales de

precipitación (campos de lluvias); y, finalmente se calculó la relación entre las distribuciones espaciales de las lluvias y los MM.

Para orientar al lector se explica de manera breve el contenido por secciones de esta Tesis: el Capítulo 1 es esta introducción; en el Capítulo 2, se presenta el estado del arte pertinente al tema de inventario y reconstrucción de eventos de MM y la explotación que de estos datos comúnmente se realiza: relaciones magnitud-frecuencia y la relación lluvias - MM; en el Capítulo 3, se presenta la metodología empleada para el cálculo de los campos de densidad y la relación entre ellos; en el Capítulo 4, se presentan los resultados obtenidos en las tres zonas de estudio; en el Capítulo 5, se lleva a cabo una discusión a la luz de lo observado; y finalmente, en el Capítulo 6, se presentan algunas conclusiones y recomendaciones que se consideran pertinentes para continuar en el avance hacia el entendimiento de este tipo de problemas.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Relación lluvia – movimientos en masa

Desde finales del siglo XX la relación entre el clima y la estabilidad del terreno ha sido uno de los aspectos que han interesado a los investigadores, aunque buena parte de ellos se han centrado en la determinación de los niveles críticos (búsqueda de umbrales) que debe alcanzar un agente externo para detonar un MM (Caine, 1980; Wieckzorek, 1987; Larsen y Simon, 1993; Wilson, 2000).

Caine (1980) aseveró que la lluvia influencia la estabilidad de una ladera dependiendo de la configuración del nivel freático y otras características relacionadas al recubrimiento superficial. Su trabajo, basado en recopilación global de datos de lluvias y ocurrencias de MM reportados, dio origen a términos como lluvia crítica, intensidad pico y umbral. Otro aporte relevante fue la formulación de la ecuación ($I = 14.82D^{0.39}$) que mostraba una relación tipo ley de potencias, $I = \alpha D^\beta$, donde I es intensidad en mm/h, D es duración en horas, β es la pendiente de la función en espacio log-log de la curva I - D y α es el factor de ajuste de los datos. Esta relación estableció el valor mínimo de intensidad de la lluvia a partir del cual se presentan MM, pero no consideró las características del terreno, siendo sólo válida para MM superficiales.

Wieczorek (1987), estudió datos de 10 tormentas entre 1975 y 1984 para un área de 10 km² en las montañas centrales de Santa Cruz (California, EE.UU.) y estableció una relación entre la ocurrencia de MM, la intensidad de la lluvia y la duración de la misma: $D = 0.9/(I-0.17)$, donde D es la duración continua de la lluvia en horas que iguala o excede la intensidad I de la lluvia en cm/h. También

sugirió el papel de la lluvia antecedente en la generación de MM. Indicó que la susceptibilidad del terreno a corrientes de derrubios depende del espesor del suelo, de la pendiente topográfica y de la concavidad del terreno. Su modelo basado en la geología, hidrología y la topografía consideró el incremento en la presión de poros debido al espesor del suelo, la posición del nivel freático, la morfología de la ladera y la intensidad-duración de la tormenta. Señaló que las tormentas de larga duración e intensidad moderada pueden causar corrientes de derrubios que inician como deslizamientos en suelos espesos y que las tormentas de corta duración y alta intensidad pueden detonar MM en laderas de pendientes suaves. Concluyó que la lluvia antecedente y la duración de lluvias con intensidades de moderadas a altas son factores importantes en la ocurrencia de corrientes de derrubios.

Larsen y Simon (1993) establecieron la relación intensidad-duración para lluvias detonantes de deslizamientos en un ambiente húmedo - tropical (Puerto Rico) y formuló la relación: $I = 91.46D^{-0.86}$, donde I es intensidad en mm/h y D es la duración en horas. Analizaron una base de datos de 256 tormentas intensas de corta duración y lluvias prolongadas de baja intensidad para un periodo de 33 años. Concluyen que las lluvias de corta duración y alta intensidad (13,8 mm/h) generan deslizamientos de suelo y flujos de detritos superficiales, mientras que las lluvias de larga duración y baja intensidad (2-3 mm/h) producen deslizamientos y avalanchas de detritos de gran dimensión y gran profundidad de la superficie de rotura. El umbral definido es el valor mínimo de lluvia para el cual estadísticamente se generan MM, sin tener en cuenta variables como la topografía, el uso del suelo ni las características geológicas del área.

Finlay et al (1997) analizaron estadísticamente la relación lluvias-deslizamientos con registros de lluvias 5-minutales para un período de 10 años en Hong Kong (1983 - 19993). Determinaron umbrales de lluvia que generan deslizamientos aislados usando modelos estadísticos (regresiones: lineal, cúbica, logarítmica, inversa y cuadrática) que predicen el número de deslizamientos alrededor de una estación meteorológica, también calcularon la probabilidad de ocurrencia de una lluvia con periodo de retorno de 100 años y la utilizaron para predecir el número de deslizamientos y concluyeron que la lluvia con duración de 1 a 12 horas es importante para predecir el número de deslizamientos. En estos resultados tampoco tuvieron en cuenta variables como: geología, geometría, drenaje, mantenimiento, edad y tipo de pendiente y el mecanismo del movimiento.

Wilson (1997) propuso que los umbrales lluvia/corriente de derrubios son proporcionales a la precipitación media anual (PMA) normalizada por el número de días de lluvia por año (#RDs) obteniendo el parámetro lluvia diaria normal (RDN) para la región de la costa Pacífica de Estados Unidos. Wilson (2000), definió un nuevo parámetro basado en una tormenta de referencia con periodo de retorno amplio que filtraba los eventos pequeños y frecuentes que determinan la PMA, pero suficientemente corto para ser estimado con datos de unas pocas décadas. Formuló un período de retorno de 5 años para la costa Pacífica de los Estados Unidos, Puerto Rico y Hawaii, como óptimo para la tormenta de referencia. También presentó tres enfoques para la determinación de umbrales de lluvias generadoras de MM: a) Geotécnico, que considera parámetros como el ángulo de fricción interna del material, la densidad, el espesor del depósito y la pendiente; b) Climatológico, referente a la frecuencia

y tamaño de la lluvia, el ciclo anual de humedad del suelo, las relaciones intensidad/duración y las teleconexiones a fenómenos como El Niño; y, c) Hidrológico, con parámetros como conductividad hidráulica, transmisividad y evapotranspiración. Mencionó las diferencias en regímenes de precipitación entre los lados de barlovento y sotavento por efectos de interacción entre las masas de aire en movimiento y la orografía a escala local (<100 km) y regional (>500 km).

Hasta finales del siglo XX, muchas referencias se centraban en determinar el umbral de lluvia detonante de MM, pero no tuvieron en cuenta la susceptibilidad del terreno representada por factores tales como la geología, la pendiente topográfica o el uso del suelo. Un resumen de las expresiones establecidas a nivel mundial, con respecto a las relaciones intensidad/duración de las lluvias y MM, lo presentaron Guzzetti et al (2007) para una base de datos de 124 ecuaciones que relacionan estas dos variables y describieron una base de datos de 853 eventos lluviosos en el área central y sur de Europa. Mediante el uso de estadística bayesiana infirieron la intensidad/duración de las lluvias que generan deslizamientos y los umbrales normalizados por PMA y por la lluvia diaria normal; estableciendo que con el incremento de la duración de la lluvia, la intensidad mínima requerida decrece linealmente en el rango 20 minutos - 12 días y que para duraciones mayores a 12 días los MM están influenciados por variables no consideradas en el modelo.

Estos autores también presentaron una revisión de la literatura acerca de los tipos y características de los umbrales de lluvia que se han definido y que son de común uso para este tipo de estudios, definiendo el umbral mínimo de lluvias como aquel por debajo del cual no ocurren MM y como umbral máximo

aquel nivel de lluvia por encima del cual siempre se presentan dichos movimientos. Para deslizamientos generados por lluvias, el umbral puede definir la cantidad de lluvia, la humedad del suelo o las condiciones hidrológicas necesarias para la ocurrencia de estos fenómenos y agruparon dichos umbrales con base en variables físicas o empíricas. Los primeros se basan en procesos geotécnicos (Wu y Sidle, 1995; Iverson, 2000) y el empleo de estos modelos en la predicción de la ocurrencia de corrientes de derrubios (Crozier y Eyles, 1980; Wilson y Wieczorek, 1995; Crozier, 1999; Glade et al, 2000; Iverson, 2000; Crosta y Frattini, 2003). Sin embargo, este tipo de modelos presentan la dificultad de requerir información espacial detallada de las condiciones hidrológicas, litológicas, morfológicas y de las características geotécnicas del suelo que controlan la iniciación de los MM; información difícil de obtener a nivel regional al igual que la información meteorológica, datos que demandarían inversiones significativas de tiempo y dinero para la elaboración de ensayos de laboratorio específicos.

Los umbrales de lluvia definidos a partir de modelos empíricos son obtenidos mediante el trazado por inspección visual de la línea inferior que separa el campo de ocurrencia y no ocurrencia de MM, aunque algunos autores han aplicado estadística para asignarles probabilidades a dichos modelos (Brunetti et al, 2010). La clave para el establecimiento de estos umbrales es la definición de la intensidad de la lluvia para un periodo de tiempo determinado: horario, diario, mensual o anual; teniendo las dos primeras características de intensidades pico y las dos últimas datos de lluvias promedio en ese periodo de tiempo; adicionalmente, estos umbrales son definidos para escalas locales (Cannon y Ellen, 1985; Wieczorek, 1987; Zezere et al, 2005; Baum et al, 2005),

regionales (Chacón et al 1998; Ferrer y Ayala, 1997; Fernandez et al. 1998; Irigaray et al. 2000; Mateos, 2001; Aleotti, 2004; Corominas et al, 2005; González-Díez et al, 2005; Mateos et al., 2012, 2013) y globales (Caine, 1980; Gibson, 1989; Clarizia et al, 1996; Crosta y Frattini, 2001; Cannon y Gartner, 2005).

Se encuentran pocas referencias sobre umbrales de lluvias detonantes de MM para los Pirineos. En el caso de los Pirineos Orientales, Corominas y Moya (1999) establecieron como umbral de lluvias detonantes de corrientes de derrubios y deslizamientos superficiales, en materiales coluviales y rocas meteorizadas: 190 mm en 24 horas sin necesidad de lluvia antecedente; o bien, un total de 300 mm en 24-48 horas. Además, para el caso de reactivaciones de deslizamientos y coladas de tierra en materiales arcillosos, proponen 40 mm en 24 horas con una lluvia antecedente de 200 mm. Corominas et al (2002), formularon la expresión $I = 66.1D^{-0.59}$ como umbral de lluvia que reactiva coladas de tierra y deslizamientos de mediano tamaño, donde I está dada en mm/día y D en días. Finalmente, Marco (2007) definió como lluvia crítica, para diferentes tipos de MM, 51 mm en 24 horas con 61 mm de lluvia antecedente. La expresión de este umbral es $Ac > 24 D + 109$, donde Ac representa la lluvia acumulada en mm y D la duración de la lluvia en semanas. Adicionalmente, Corominas et al (2005) establecen, en casos de eventos lluviosos de alta intensidad y corta duración (resultado de tormentas convectivas) generadores de corrientes de derrubios y deslizamientos superficiales sobre suelos con permeabilidad relativamente alta, la expresión: $I = 17.96D^{-0.59}$ para $D > 168$ días. Chang et al (2008), incorporaron el uso de datos de reflectividad de radar para calcular la cantidad de precipitación esperada y, con la intensidad y duración de

la lluvia esperada, las probabilidades de materialización de MM con un modelo estadístico tipo logit. Los datos de radar suministran información alternativa a la falta de una red de estaciones meteorológicas.

En la obtención de las expresiones anteriores, desde Caine (1980) hasta Guzzetti et al (2007), se asume que la frecuencia de los MM es aquella de los eventos detonantes; sin embargo, no tienen en cuenta que los detonantes pueden ser de diferente naturaleza (lluvia, fusión de nieve, sismos, excavación lateral del cauce, etc.) o que los eventos detonantes de similar intensidad pueden generar consecuencias sobre la ladera (Corominas, 2006).

2.2 Inventarios de movimientos en masa

De acuerdo a Corominas et al (2014) un inventario de MM debe contener información sobre la actividad (estado, estilo y distribución), requiriendo análisis multi-temporales para regiones extensas. A escalas cartográficas detalladas, los análisis de actividad se restringen a un solo deslizamiento. Para tener un insumo confiable para la evaluación de la amenaza y el riesgo, es fundamental contar con información que permita conocer la frecuencia temporal y espacial de los MM y por lo tanto el inventario debe ser completo.

Las técnicas empleadas para realizar los inventarios de MM (Gallart y Clotet, 1988; Chacón y Soria, 1992; Chacón et al. 1994, 1996; Irigaray et al, 1994; González-Díez, 1995; Irigaray, 1995; Fernandez et al, 1996; Van Westen et al, 2008; Guzzetti et al, 2012, entre otros) incluyen el reconocimiento sobre el terreno y especialmente, la interpretación visual de imágenes estereoscópicas (fotografías aéreas). El uso de Google Earth donde el terreno está cubierto por

imágenes de satélite de alta resolución las que permite tratar combinadamente con modelos digitales de elevación (DEM) mediante el uso de sistemas de información geográfica que generan imágenes estereoscópicas; sin embargo persiste el inconveniente de la presencia de vegetación en zonas selváticas o de bosques densos. Otra herramienta es el mapa de sombras generado a partir de imágenes DEM LiDAR, en donde la vegetación es removida virtualmente del terreno (Ardizzone et al, 2007; Razak et al, 2011). El consumo de gran cantidad de tiempo, la rapidez con que se requieren los inventarios una vez ocurren los eventos y el requerimiento de expertos en la aplicación de las anteriores técnicas han llevado al desarrollo de procesos semi-automáticos para la realización de inventarios de MM (Michoud et al, 2010; Stumpf et al, 2011). Adicionalmente, un gran número de métodos hacen uso de herramientas de sensores remotos ópticos pasivos, tales como la clasificación de píxeles u orientada a objetos basada imágenes de satélite (Martha et al, 2010a; Mondini et al, 2011; Lu et al, 2011). También se aplica un amplio rango de herramientas como fotografías y videos terrestres (Travelletti et al, 2010; Niethammer et al, 2011), estereofotogrametría aérea y satelital (Martha et al, 2010b).

2.3 Análisis de datos de inventarios de movimientos en masa

Diferentes autores han utilizado diversos procedimientos de observación y datación para obtener registros y series de movimientos en masa para conocer la frecuencia con la que ocurren (González-Díez, 1995; González-Díez et al, 1996; Corominas y Moya, 1999; Mateos, 2001). Asimismo se han propuesto diversos tratamientos estadísticos de los registros de los movimientos en masa

con el fin de obtener la relación magnitud-frecuencia, imprescindible para evaluar la peligrosidad de los mismos (González-Díez et al, 1996; Hungr et al, 1999; Reichenbach et al, 2002; Guzzetti et al, 2002; Turcotte et al, 2002; Malamud et al, 2004a y 2004b; Turcotte et al, 2005; Turcotte et al, 2006). Adicionalmente, es fundamental determinar la bondad del ajuste de dicha distribución a la de los datos. Esta evaluación debe incluir la escogencia de la amplitud del intervalo de agrupación de los datos y el cálculo del error en la estimación de los parámetros del modelo de función de distribución de probabilidad (Evans, 1977; Haan, 1982; Newman, 2005; James y Plank, 2007; Sims et al, 2007; Edwards, 2008; Clauset et al, 2009). White et al (2008), propusieron como alternativas para realizar este procedimiento: intervalos con ancho lineal constante, intervalos con ancho logarítmico simple e intervalos con ancho logarítmico normalizado.

En los casos de conjuntos de datos que se ajustan a una ley de potencias, Sims et al (2007) y Edwards (2008) enfatizaron acerca de la determinación del parámetro μ (exponente de la ley potencial, equivalente a la pendiente de la línea de ajuste a la distribución de los datos graficados en escala logarítmica). Igualmente Newman (2005), Clauset et al (2009) y James y Plank (2007), propusieron que se debe determinar el valor mínimo a partir del cual la distribución se puede ajustar a una tipo ley de potencias.

A diferencia de las propuestas anteriores James y Plank (2007) propusieron que para ajustar una distribución se debe tomar la totalidad de los datos (sin truncamientos). Adicionalmente Edwards (2008) y Clauset et al (2009) establecieron como mejor método para determinar la distribución de una serie de datos, el estimador de la máxima verosimilitud (EMV), que utiliza tres

pruebas estadísticas (Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling y Chi-Cuadrado) para evaluar el ajuste y establecer el ranking de bondad del mismo. En la actualidad existen paquetes estadísticos para automatizar el proceso de evaluación de distribuciones de probabilidad, evaluación del ajuste y establecimiento de la bondad del ajuste, uno de ellos es el programa EasyFit® (Mathwave, 2014) por medio del cual se calculan los parámetros de 65 distribuciones teóricas de probabilidad y determina la que mejor se ajusta siguiendo el criterio de máxima verosimilitud.

2.4 Análisis de datos meteorológicos

El objetivo del análisis de datos meteorológicos es obtener la distribución espacial, y en lo posible temporal, de las lluvias lo más cercano a la realidad con el fin de poder evaluar su influencia en la generación de procesos de desestabilización de laderas y cómo esto puede afectar el análisis de la distribución de las roturas y del mecanismo de las mismas (Gallart y Clotet, 1988; Ferrer y Ayala, 1997; Moya y Corominas, 1997; Dominguez et al, 1999; González-Diez et al, 1999; Corominas, 2000; Chacón et al, 2001; Marques et al, 2001) . En casos de existencia de pocas estaciones meteorológicas, o que se distribuyan lejos de los sitios de ocurrencia de MM, es necesario realizar interpolaciones que conlleven a establecer dicha distribución. Por lo anterior es necesario realizar procedimientos que involucren información secundaria que se relacione con la distribución espacial de la lluvia teniendo en cuenta la interacción entre las masas de aire en movimiento y las características morfométricas del terreno.

Con respecto al análisis de datos de lluvias y su relación con la morfología del terreno, diferentes estudios alrededor del mundo han demostrado una fuerte relación entre la precipitación y la altura topográfica (Duckstein et al, 1973; Changnon et al, 1975; Smith, 1979; Andersson, 1981; Osborn, 1984; Dingman et al, 1988; Oki et al, 1991; Hevesi et al, 1992a y 1992b). En este sentido, la primera aproximación en la determinación del patrón de precipitación se abordó mediante la relación lluvia-altitud topográfica (Lee, 1911; Brunsdon et al, 2001; Suzuki et al, 2004), la cual fue denominada ley general de incremento de la precipitación con el incremento de la altitud (Henry, 1919); implementada con la gráfica “distancia desde la costa vs altitud topográfica de la montaña y simultáneamente con la cantidad de lluvia registrada en las respectivas estaciones meteorológicas” (Lee, 1911; Henry, 1919; Mink, 1960). A partir de la anterior relación Henry (1919) y Brunsdon et al (2001) determinaron el índice de cantidad de precipitación por incremento de altitud. Adicionalmente Andersson, (1981), Grabowski (1989) y Cuadrat y Pita (2009) enfatizaron que el aumento de la precipitación con la altura topográfica es un rasgo típico de cada montaña que dista mucho de ser regular como consecuencia de las modificaciones que la orografía local. De otra parte Loukas y Quick (1993), llamaron la atención acerca de la existencia del óptimo pluviométrico para sistemas montañosos con amplitud mayor a 100 km; mientras que Smith (1979) y Roe (2005), establecieron que en montañas con amplitud menor a 20 km la máxima precipitación se presenta hacia la cima de la montaña. Triplet y Roche (1977), Smith (1979), O'Hare y Sweeney (1986), Roe (2005), Cuadrat y Pita (2009), indicaron que para flancos de sotavento con pendientes mayores a 40° los vientos adquieren un movimiento ondulatorio que por la interacción con la

topografía determinan la aparición de remolinos. Este cambio en la estructura del sistema nuboso, a medida que el patrón meteorológico progresa sobre la topografía, conlleva a la modificación de la distribución de la precipitación (Hobbs et al, 1975; Smith, 1979; Guan et al, 2009).

En términos de la densidad de estaciones meteorológicas, algunos autores (Kieffer y Bois, 2001) notaron que la mayoría de estaciones se localizan cerca de núcleos urbanos, hidroeléctricas y otras obras de infraestructura de interés para la población y pocas veces en regiones topográficas elevadas y/o aisladas; lo que impide la determinación de la variabilidad espacial de las lluvias (Basist et al, 1994; Wotling et al, 2000; Anders, 2009). Por lo anterior, si se requiere establecer el campo de lluvias en áreas con pocas estaciones pluviométricas, una opción adecuada es incluir variables orográficas y geográficas como información secundaria (Hay et al, 1991; Daly et al, 1994; Agnew y Palutikof, 2000; Goovaerts, 2000; Ninyerola et al, 2000; Marquínez et al, 2003). A partir del trabajo de Spreen (1947) se incluyeron variables orográficas tales como la distancia a la cima de la cadena montañosa o al centro de la tormenta, la orientación de la ladera con respecto a la dirección del avance del sistema meteorológico, la pendiente, las barreras entre la fuente de humedad y el sitio de interés y la elevación (Cheng y Lau, 1970; Osborn, 1984; Basist et al, 1994; Prudhomme y Reed, 1998; Taher y Alshaikh, 1998; Kieffer y Bois, 2000; Ranhao et al, 2008).

Wotling et al (2000) precisaron que se deben seleccionar variables con significado físico real, mientras que algunos autores realizaron operaciones algebraicas entre diferentes variables, para escoger las que más se correlacionen con la precipitación (Basist et al, 1994; Prudhomme y Reed,

1998; Portalés et al, 2008). Sin embargo, Diodato (2005) anotó que en lo posible deberían prevalecer los principios físicos meteorológicos sobre las técnicas estadísticas.

La mayor parte de los anteriores autores coinciden en que las variables orográficas de mayor incidencia en la distribución espacial de la precipitación son: a) la altura topográfica, b) la orientación de la ladera, c) la curvatura del terreno, d) la distancia del sitio de interés al centro del elipsoide de máxima precipitación y e) la pendiente de la ladera.

Otro aspecto relevante a considerar es la determinación del método de análisis para ponderar cada variable en la estimación de la precipitación. Los métodos se pueden agrupar en dos clases: 1) basados en información meteorológica primaria y modelación numérica de la misma (Changnon et al, 1975; Corradini, 1985; Oki et al, 1991; Smith y Barstad, 2004; Gibergans y Llasat, 2007) y 2) basados en estadísticos tales como la correlación-regresión (Cheng y Lau, 1970; Basist et al, 1994; Daly et al, 1994; Martínez, 1996; Taher y Alshaikh, 1998; Ranhao et al, 2008; Guan et al, 2009), el análisis de componentes principales (Johnson y Hanson, 1995; Wotling et al, 2000) y “thin plate smoothing splines” (Hutchinson, 1995).

De manera práctica el cálculo de la precipitación se puede realizar mediante el uso de herramientas SIG; de las cuales también se derivan las variables a partir del modelo digital de elevación (Daly et al, 1994; Hay et al, 1998; Prudhomme y Reed, 1998). Algunos autores como Chua y Bras (1982), Dingman et al (1988), Hevesi et al (1992a y 1992b), Phillips et al (1992), Garen et al (1994), Prudhomme y Reed (1999), Goovaerts (1999, 2000), Kieffer y Bois (2001), Diodato (2005), Guan et al (2005) y Portalés et al (2008) construyen el

campo de lluvias o mapa digital de precipitación usando procedimientos geoestadísticos como Kriging, Kriging con deriva externa, co-Kriging y Kriging de residuos.

2.5 MORLE's

Mientras que los anteriores trabajos se han preocupado del análisis de la relación lluvias-MM a través de la definición de los umbrales para eventos locales o aislados, recientemente Crozier (2005), Preston (2008) y Crozier (2012) introdujeron el término MORLE (*Multiple-Occurrence Regional Landslide Events*) para designar múltiples roturas en áreas extensas sobre las cuales se presenta la precipitación. Aunque, la mayoría de trabajos de cálculo de umbrales I-D de lluvia desencadenante de roturas, se basan en episodios de ocurrencia múltiple de deslizamientos no han sido tradicionalmente clasificados como MORLE.

Este tipo de eventos incluye aquellos en los cuales ocurren simultáneamente cientos a miles de deslizamientos superficiales sobre áreas de hasta 20.000 km², reflejando la distribución espacial de la energía detonante (Preston, 2008). La escala espacial donde se presentan casi simultáneamente estos MM representa una amenaza múltiple que puede superar la capacidad de respuesta de las entidades gubernamentales de la zona afectada. Si bien es cierto que el desencadenante puede ser una lluvia, sismos o fusión súbita del manto nival, lo más común es que sean generados por lluvias torrenciales con intensidades críticas gobernadas por las condiciones de humedad antecedente y por la duración del evento lluvioso (Crozier, 2005). Los MORLE'S

comúnmente involucran únicamente el regolito y pueden ser clasificados como corrientes de derrubios y deslizamientos de tierra aunque también suelen estar acompañados por algunos desprendimientos rocosos.

Las relaciones entre la magnitud del evento y las condiciones climáticas se refieren a varios parámetros, pero el más utilizado es el área afectada (Crozier, 2005). Esta área se define por la envolvente que separa zonas con y sin afectación por MM generados por el mismo evento desencadenante. A partir de este parámetro se definen las relaciones típicas como: densidad de deslizamientos, razón de daño, relaciones con la trayectoria y zona de depósito, volumen desplazado y velocidad de desplazamiento, entre otros. Las comparaciones de estas relaciones entre diferentes áreas afectadas por MORLE's debe hacerse con mucha precaución, lo que se puede lograr usando las mismas técnicas (sensores remotos, trabajo campo, regularización del área de estudio, etc.) y los mismos protocolos y procedimientos estandarizados (Crozier, 2005).

Preston (2008) afirma que la extensión espacial de los MM depende de la extensión del evento desencadenante, pero que la densidad de roturas varía influenciada por la precipitación local, la topografía, la pendiente hidrológica y las condiciones en que se encuentre el terreno. Este mismo autor, para el caso del ciclón Bola (1988) en Tutira (Nueva Zelanda), afirma que la densidad de MM también varía con la escala, aunque la distribución de los daños sugiere un comportamiento asintótico de la relación entre la escala espacial y la densidad a aproximadamente 25 km².

Corominas (2000) hace una revisión entre la actividad de deslizamientos y las condiciones climáticas presentes. Establece que las roturas por primera vez en

grandes deslizamientos en su mayoría no obedecen a factores climáticos, pero que estos si juegan un papel importante en la reactivación de movimientos en masa y como detonantes en el caso de roturas superficiales. Recalca la importancia de una selección rigurosa del conjunto de deslizamientos que eviten la inclusión de MM de otros orígenes y la consideración del contexto geomórfico y la distribución de los MM. Corominas et al (2014) presentaron las recomendaciones para la realización de análisis cuantitativo de la amenaza. Vulnerabilidad y el riesgo por deslizamientos a diferentes escalas espaciales. El enfoque que definen es de tipo probabilístico para la ocurrencia de la amenaza, los métodos empleados para determinar la distribución espacial de la intensidad de los MM, la caracterización de los elementos en riesgo y el grado potencial de daño que ellos podrían sufrir. Enfatizan el requerimiento de realizar inventarios detallados de MM antes de la evaluar la susceptibilidad del terreno a deslizamientos.

Existen episodios muy importantes de deslizamientos en los Pirineos, como los ocurridos en octubre de 1940, agosto de 1963 y junio de 2008, que no habían sido estudiados en detalle, con la dificultad particular que representa analizarlos con pocos datos disponibles y 75 años después de su ocurrencia; cuya reconstrucción representa una contribución a la definición de umbrales desencadenantes de MM y a la comprensión de los factores condicionantes del terreno para el establecimiento de sistemas de alerta temprana y para la mitigación del riesgo en estas tres importantes zonas de Catalunya.

Esta Tesis contempla la documentación y reconstrucción, muchos años después, de la ocurrencia de estos tres eventos, utilizando fotografías aéreas y registros de lluvias, constituyéndose en un aporte reciente al análisis de

MORLE's en tres regiones de los Pirineos. De igual forma implementa las técnicas y procedimientos utilizados en la literatura tanto especializada en ramas afines al campo de la Ingeniería como en otras disciplinas científicas (ej.: Ecología).

3 OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

3.1 OBJETIVOS

3.1.1 Objetivo principal

Reconstruir y analizar los movimientos en masa generados por las lluvias de octubre de 1940 en Molló-Queralbs, de agosto de 1963 en Barruera-Vielha y de junio de 2008 en Berga-Cercs.

3.1.2 Objetivos específicos

Para lograr el objetivo principal de la Tesis, se desarrollaron los siguientes objetivos específicos:

- a) Recopilar y analizar la información de fuentes secundarias sobre los eventos de interés.
- b) Reconstruir el inventario de movimientos en masa generados por las lluvias de octubre de 1940 (Molló-Queralbs), agosto de 1963 (Barruera-Vielha) y junio de 2008 (Berga-Cercs).
- c) Establecer la relación magnitud-frecuencia de las roturas
- d) Reconstruir el campo de lluvias de octubre de 1940 (MQ), agosto de 1963 (BV) y junio de 2008 (BC).
- e) Analizar la relación entre los campos de lluvias y los respectivos inventarios de movimientos en masa.

- f) Analizar la influencia de los factores condicionantes del terreno, en particular la pendiente y la presencia de formación superficial en la aparición de roturas.

3.2 METODOLOGÍA

3.2.1 Recopilación de Información sobre movimientos en masa

La compilación de información sobre MM inicia con la revisión de los trabajos anteriores publicados incluyendo: artículos (ej.: Brocal, J, 1984; Corominas y Alonso, 1984; Gallart y Clotet, 1988; Corominas et al, 2002; Hürlimann et al, 2003), tesis doctorales (ej.: Baeza, 1994; Santacana, 2001; Moya, 2002; França-Amorim, 2012), reportes de periódicos (ej.: Ribes, 1982; ACN, 2008), informes internos de instituciones (ej.: Corominas et al, 2005), reportes de trabajos técnicos por parte de empresas privadas (ej.: Geoconsult, 2008) e institucionales públicas (ICC, 2010: ortofotomapas) y consultas electrónicas de datos geográficos georreferenciados (ICGC, 2010 y 2014: herramientas Vissir). De estas fuentes la atención se centró en la obtención de los datos correspondientes a: localización geográfica, el tipo de MM y la fecha de ocurrencia (Anexo 1). Partiendo del conocimiento de esta última, se recopiló información de 156 MM en Cataluña y 56 en Andorra (Hürlimann et al, 2009), de las que se seleccionaron tres fechas estratégicas que constituirían el núcleo de la investigación: Octubre de 1940, Agosto de 1963 y Junio de 2008, teniendo en cuenta la ausencia de investigaciones para estos períodos.

3.2.2 Análisis de fotografías aéreas y ortofotomapas

Los MM se clasificaron de acuerdo a la geometría de las cicatrices. Se definieron como corrientes de derrubios, aquellos cuyas cicatrices presentan zona de tránsito (drenaje encausado) y perímetro en forma de reloj de arena; y, como deslizamientos superficiales, aquellos que carecían de continuidad hacia la zona de tránsito. Para las fotografías de 1956/1957, las cicatrices con zona de tránsito revegetada y tonos grises oscuros se interpretaron como más antiguos a la fecha de los eventos lluviosos y por lo tanto no se tuvieron en cuenta en el inventario.

Las fotografías aéreas pre-eventos y pos-eventos (Tabla 3.1) de las regiones de interés, en los períodos mencionados, fueron inspeccionadas visualmente para localizar el MM inventariado y confirmar o descartar la existencia de MM adicionales. Este ejercicio resultó en la construcción de inventarios extendidos en tres zonas importantes: Molló-Queralbs, Barruera-Vielha y Berga-Cercs.

Tabla 3.1 Características fotografías aéreas analizadas

Zona de Estudio	Área Zona (km ²)	Fecha Fotos Pre-Evento	Fecha Fotos Pos-Evento	Escala Fotos	Formato Fotos	Número de Fotos
Molló-Queralbs (1940)	412	No Existen	1956/1957 (SGE)	1:30.000	Análogo	113
Barruera-Vielha (1963)	504	1956/1957 (SGE)		1:30.000	Análogo	117
			1975 (ICC/IGN)	1:18.000	Análogo	85
Berga-Cercs (2008)	20	2001 (ICC/IGN)	No Existen	1:22.000	Análogo	8

SGE: Servicio Geográfico del Ejército

ICC/IGN: Instituto Cartográfico de Cataluña/Instituto Geológico Nacional

Para todas las fotografías aéreas se construyeron manualmente mapas con los contornos de cada uno de los MM detectables y se procedió a georreferenciarlos mediante el establecimiento de puntos geográficos claramente identificables. Mediante el uso de ortofotomapas con la herramienta Vissir (ICC, 2010) se obtuvieron las confirmaciones de las localizaciones definitivas de los MM.

Las fotografías aéreas del vuelo del Servicio Geográfico del Ejército, debido al tiempo transcurrido desde la toma, presentan deterioro en la nitidez, lo cual dificulta la detección de cicatrices en algunas zonas como la observada en la parte izquierda de la Figura 3.1. Esta desventaja no se observó en las fotografías aéreas de 1975 de Barruera-Vielha (Figura 3.2) ni en las de Berga-Cercs del 2001 (Figura 3.3).

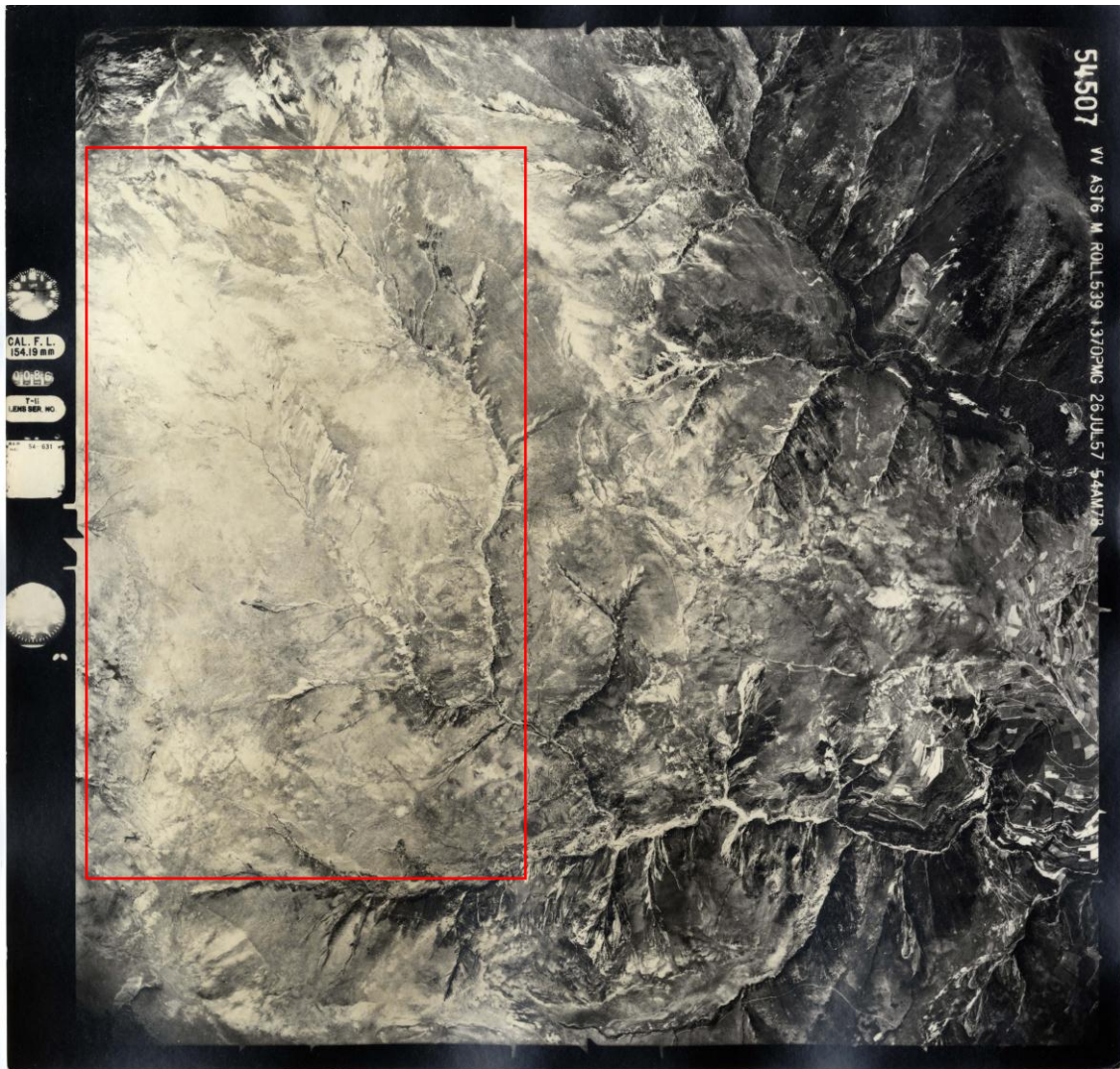


Figura 3.1 Fotograma del área Molló Queralbs. Servicio Geográfico del Ejército 1956/1957

El sector izquierdo (rectángulo de color rojo de la Figura 3.1), debido al deterioro físico con el transcurrir del tiempo desde la toma de las fotografías, se observa la pérdida de la nitidez del fotograma, lo cual dificulta la correcta identificación de roturas; cuestión que en el sector derecho del mismo fotograma no ocurre.

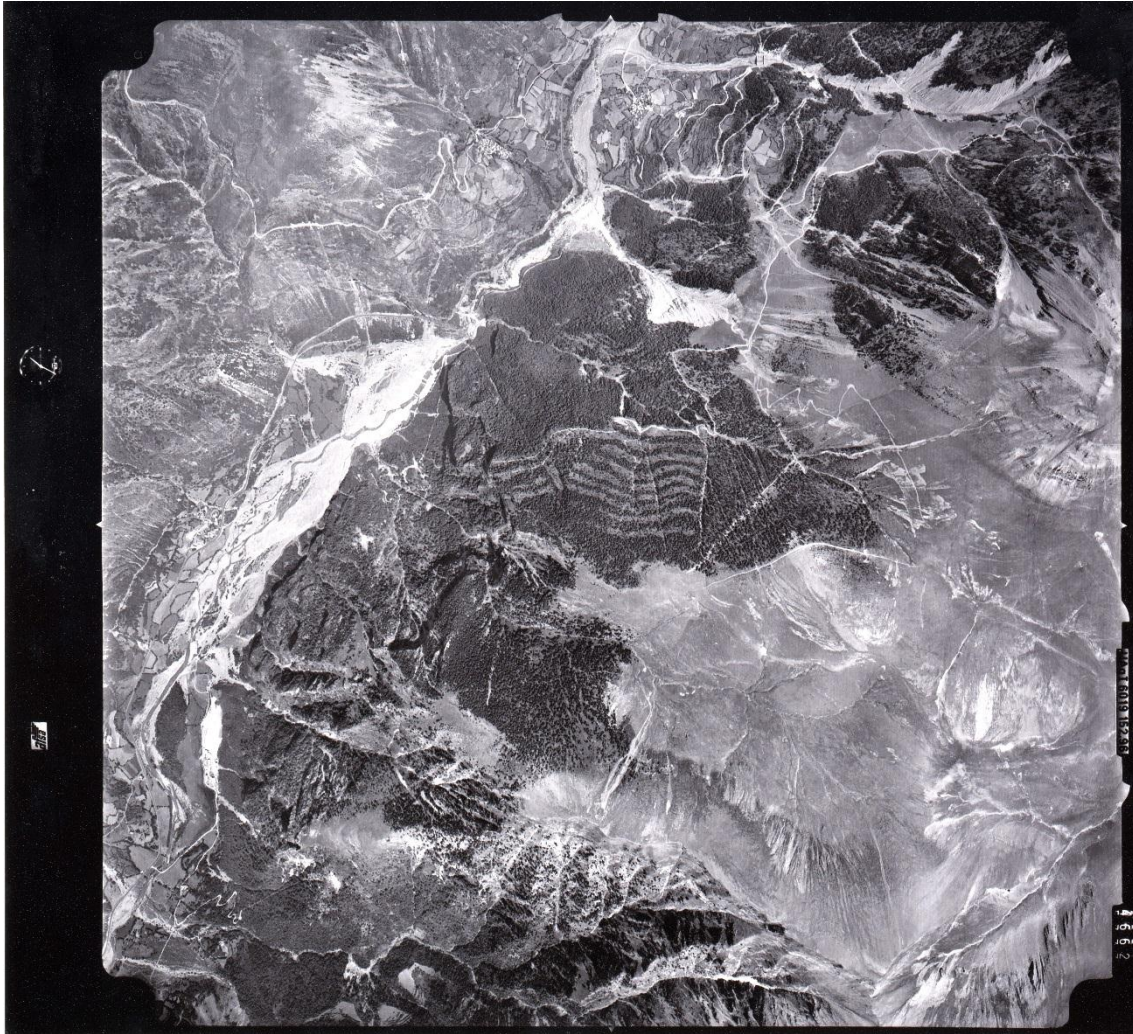


Figura 3.2 Fotograma del área Barruera-Vielha de 1975. ICC/IGN

En este fotograma de 1975 es clara la nitidez de la toma, con lo cual se mejora la calidad de la fotointerpretación en comparación a las fotografías aéreas de de 1956/1957. De igual forma, la mejoría es aún más notable cuando se tienen fotogramas más recientes y a color como las de la Figura 3.3.

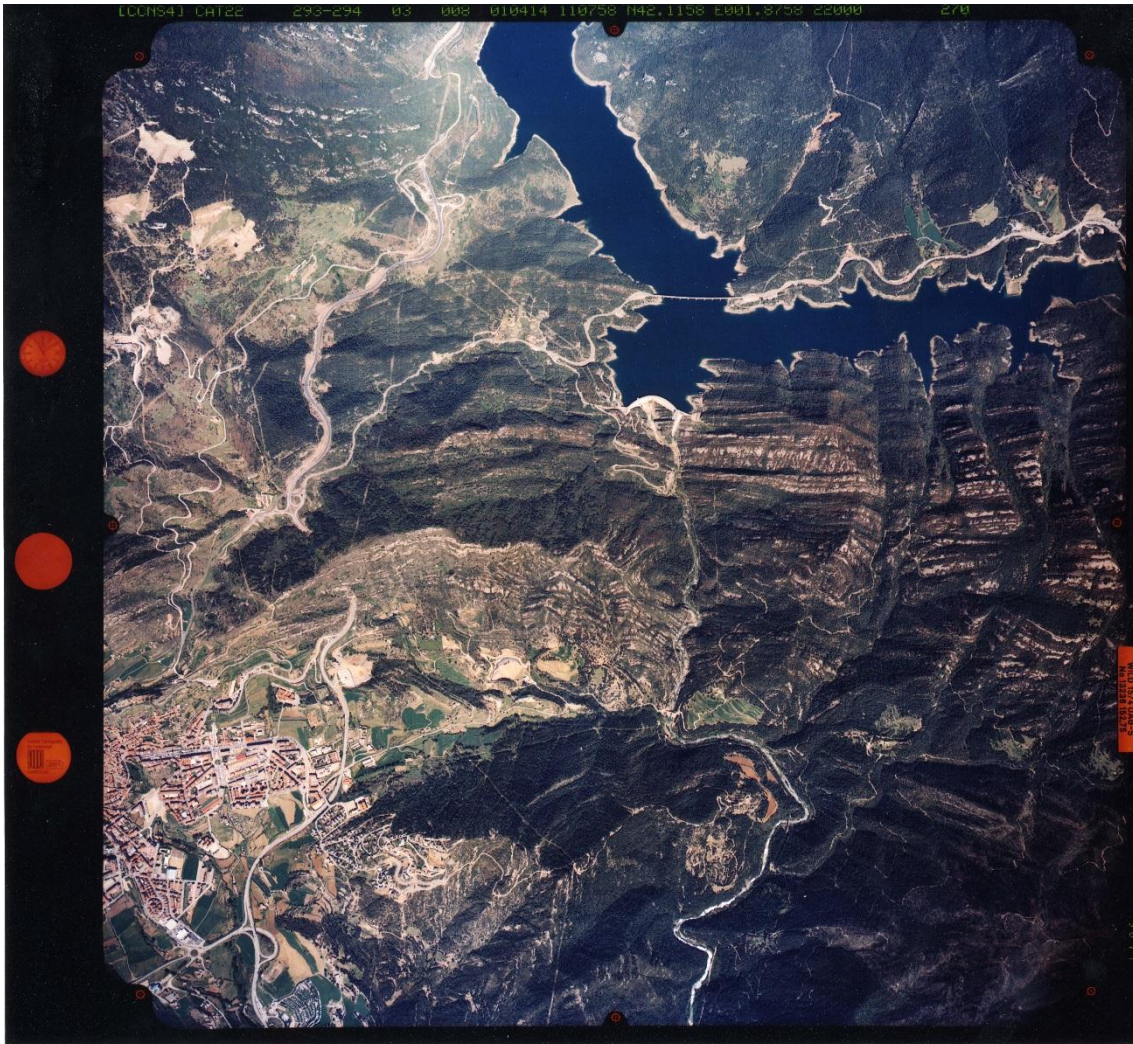


Figura 3.3 Fotograma del vuelo 2001-102 del área Berga-Cercs

De otra parte, la escala de las fotos de las áreas de Molló-Queralbs y Barruera-Vielha tiene implicaciones directas en el tamaño mínimo cartografiable de cicatrices de movimientos en masa; y, adicionalmente, el tiempo transcurrido entre la fecha del evento lluvioso y la toma de las fotografías implica que las cicatrices de MM ocurridos se hayan revegetalizado y por lo tanto ya no sean visibles en el momento del vuelo. Estas dos observaciones, no afectan de igual forma el caso de Berga-Cercs, por cuanto el área de las cicatrices de los MM ocurridos es menor a 25 m^2 y dado que en este caso excepcionalmente, se acudió rápidamente a documentar el evento si bien de forma incompleta.

3.2.3 Digitalización y cálculo de áreas de movimientos en masa

El proceso de digitalización se llevó a cabo utilizando el software ArcGIS® (ESRI, 2010), resultando en múltiples polígonos representativos de contornos de cicatrices que debido a la resolución alcanzable presentaban tamaños en el rango $170 \text{ m}^2 - 83.813 \text{ m}^2$ (Para el caso de Molló-Queralbs y Barruera-Vielha; para Berga-Cercs no se digitalizaron polígonos de roturas, debido al tamaño de las mismas $< 25 \text{ m}^2$). A continuación se procedió a utilizar los algoritmos incorporados en el programa para calcular los centroides y las áreas de las cicatrices de los MM. Debido a que las áreas de las cicatrices de MM que se obtienen a partir de la digitalización corresponden a polígonos proyectados sobre un plano horizontal, algunos autores como Malamud et al (2004a) han propuesto la aplicación de una corrección para obtener las denominadas “áreas 3D” (Ecuación 1). Esta ecuación sencillamente representa la relación trigonométrica Coseno: si se toma el plano de una ladera (hipotenusa) y este se proyecta sobre un plano horizontal, se tendría el cateto adyacente (que es el área del polígono digitalizado: “Área 2D”); si se toma como área el del plano de la ladera (“Área 3D”), entonces:

$$\text{Ecuación 1: } \text{Área 3D} = \text{Área 2D} / \cos \theta$$

donde θ es el valor de la pendiente (Malamud et al, 2004a). Sin embargo, en este trabajo se implementó el macro “*bas3darea.UpdatePolysWith3DSurfaceArea*” (ESRI, 2010), el cual recalcula el “área 3D” de cada uno de los pixeles que están dentro del polígono de la cicatriz y con ello un “área 3d” más cercana a la real del terreno.. Estas áreas

representan valores más rigurosos dado que consideran cada detalle de la inclinación del terreno y constituyeron la base de datos fundamental para el desarrollo de la investigación.

3.2.4 Análisis estadístico de los datos

3.2.4.1 Método gráfico

En primera instancia se recomienda realizar un histograma de frecuencias con un ancho de intervalo constante, con el fin de observar de manera general la distribución de los datos de área de cicatriz de las roturas (en este trabajo se eligió como ancho de intervalo el valor de 1.000 m²). A continuación se determina la amplitud del intervalo eligiendo entre las siguientes tres alternativas: a) siguiendo el algoritmo propuesto por Sturges en 1926 (Haan, 1977), Ecuación 2.

$$\textbf{Ecuación 2: } m = 1 + 3.3 \log n$$

Donde m es el número de clases y n es el número de datos; b) de acuerdo al algoritmo de Scott (1979), Ecuación 3.

$$\textbf{Ecuación 3: } h_n = 3.49 s n^{-1/3}$$

Donde h_n es el ancho del intervalo, s la desviación estándar y n el número de datos; y c) con el algoritmo propuesto por Freedman y Diaconis en 1981 (Hyndman, 1995), Ecuación 4.

Ecuación 4: $h = 2(IQ)n^{-1/3}$

Donde h es el ancho del intervalo, IQ es el rango intercuartil y n el número de datos.

De manera práctica estos cálculos están implementados en el software EasyFit® (Mathwave, 2005). Una vez elegida la amplitud del intervalo se grafica el valor central de cada intervalo en función de la frecuencia para construir un nuevo histograma suavizado que permite corroborar o descartar el comportamiento de los datos en términos de una ley de potencias.

A continuación se determina el parámetro μ (exponente de la ley potencial, equivalente a la pendiente (Δ) de la línea recta que se ajusta a la distribución de los datos graficados en escala logarítmica). Este procedimiento se puede realizar usando cualquiera de los siguientes cuatro métodos (Sims et al, 2007; Edwards, 2008; Newman, 2005; Edwards, 2008): a) LB (Logarithmic Binning), b) RF (Rank/Frequency), c) LT (Log Transform) y d) LBN (Log- Binning with Normalization). En los métodos LB y RF $\Delta = \mu - 1$, en LT y LBN $\Delta = \mu$.

En el método LT (Log Transform) se grafica el histograma usando ejes logarítmicos. En el método LB (Logarithmic Binning) los datos se agrupan en intervalos con amplitud equivalente a 2^k -veces la amplitud del intervalo precedente, donde k es un entero antes de realizar la transformación a escala logarítmica; esto conlleva a una distribución lineal con puntos igualmente espaciados, debido al uso de la amplitud de intervalo en progresión geométrica, usualmente $k = 1$. En el método LBN (Log- Binning with Normalization) se determina logarítmicamente el valor central de cada intervalo j , $n_j = \sqrt{2^j 2^{j+1}}$ y la

densidad de probabilidad respectiva, $f_{(n_j)} = \frac{1}{2^j} \frac{s_j}{S}$; donde s_j corresponde a la frecuencia de los datos en el intervalo j , S es el número total de datos y 2^j es la amplitud del intervalo j (Pueyo, 2006). Es decir, se normaliza la distribución de frecuencias por la amplitud del intervalo y por el número total de datos; luego se grafica $f_{(n)}$ vs el valor central del intervalo en escala logarítmica. Finalmente, en el método RF (Rank/Frequency) se ordenan los datos de mayor a menor y se grafica el número de datos con un valor \geq al valor correspondiente al área de la cicatriz.

La implementación de los métodos LT, LB y LBN resulta en gráficas con tendencia lineal, mientras que el método RF produce la gráfica de una función curvilínea para la cual la línea de regresión no se ajusta bien a la distribución de los datos. Aunque el ajuste también puede ser evaluado por inspección o de acuerdo al valor del coeficiente de correlación R , existe un método alternativo para la construcción del gráfico RF (James y Plank, 2007), que consiste en el ordenamiento de los datos de mayor a menor valor y graficar $\log(j/N)$ vs. $\log x_j$ (para $j = 1, 2, \dots, N$), donde j corresponde la posición del dato en el ordenamiento (una expresión de la probabilidad de dicho dato dentro de la distribución) y N es el número total de datos. Este gráfico es útil para identificar segmentos de función donde la distribución de los datos presenta variaciones en comportamiento (lineal, curvilíneo, etc.). De manera general es éste método alternativo el de uso común. La gráfica resultante presenta las siguientes características: una sección denominada “roll-over” que contiene los datos con mayor frecuencia (en nuestro caso las cicatrices de menor tamaño) y una sección rectilínea que incluye los demás datos. El ajuste a una línea recta se incrementa si se acota el conjunto de datos a partir de la inflexión de la gráfica

y el ajuste mejora (medido de acuerdo al parámetro R) a medida que se descartan una mayor cantidad de datos en la zona de mayores frecuencias.

3.2.4.2 Método del estimador de máxima verosimilitud

Por lo anterior, el método más apropiado para determinar la distribución que mejor se ajusta a la teórica de una serie de datos empíricos, es el método del EMV, mediante el cual se realiza el ajuste de distribuciones de probabilidad a los datos empíricos. El tratamiento de los datos mediante la aplicación de este método, es aconsejable realizarlo para llegar a determinar con mayor certeza la mejor distribución que represente a los datos analizados. En el desarrollo de la Tesis se aplicó para determinar la distribución de los datos del inventario de MM, del campo de densidad de roturas y del mapa digital de precipitación. Este proceso se realizó mediante el uso del programa EasyFit® (Mathwave, 2010), que facilita la aplicación de 65 distribuciones teóricas de probabilidad (Tabla 3.2) a los datos y simultáneamente determina los valores de los parámetros que mejor se ajustan en cada modelo a la distribución real, siguiendo el criterio de máxima verosimilitud.

Tabla 3.2 Distribuciones usadas por el programa EasyFit® (<http://www.mathwave.com>)

- | | |
|--------------------|-----------------------|
| • Bernoulli | • Laplace |
| • Beta | • Levy |
| • Binomial | • Logarithmic |
| • Burr | • Logistic |
| • Cauchy | • Log-Gamma |
| • Chi-Squared | • Log-Logistic |
| • Dagum | • Log-Pearson 3 (LP3) |
| • Discrete Uniform | • Lognormal |
| • Erlang | • Negative Binomial |
| • Error | • Nakagami |
| • Error Function | • Normal |
| • Exponential | • Pareto |
| • F | • Pareto 2 (Lomax) |

- Fatigue Life
- Frechet
- Gamma
- Generalized Extreme Value
- Generalized Gamma
- Generalized Logistic
- Generalized Pareto
- Geometric
- Gumbel Max
- Gumbel Min
- Hyperbolic Secant
- Hypergeometric
- Inverse Gaussian
- Johnson SB
- Johnson SU
- Kumaraswamy
- Pearson 5
- Pearson 6
- Pert
- Poisson
- Phased Bi-Exponential
- Phased Bi-Weibull
- Power Function
- Rayleigh
- Reciprocal
- Rice
- Student's t
- Triangular
- Uniform
- Wakeby
- Weibull

En este estudio se aplican tres pruebas estadísticas (Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling y Chi-cuadrado) para determinar de manera cuantitativa la bondad del ajuste de cada una de las 65 distribuciones teóricas a los datos. La bondad del ajuste es evaluada mediante parámetros que indica el nivel de certidumbre de cada una de las distribuciones (valores altos de p-value, para ciertos niveles de confianza, señalan a la mejor distribución). De las tres pruebas estadísticas mencionadas se considera que la más estricta es la de tipo Kolmogorov-Smirnov y tiene prioridad sobre los resultados de las demás pruebas.

3.2.5 Construcción del campo de densidad de roturas

Las áreas de interés se dividieron en una cuadrícula con nodos separados 1 km.

La densidad de MM en las áreas se calculó con base en el mapa digital de coberturas del suelo (CREAF, 1993) que existe para la totalidad del territorio

catalán, asumiendo que en aquellas zonas donde hay cobertura vegetal, ésta se desarrolla en un sustrato con presencia de formación superficial.

Para todas las áreas se usó la información de cobertura del suelo más cercana a esta fecha de interés, en formato vector estructurado. A continuación se extrajeron las secciones de cobertura del suelo de cada una de las zonas de estudio. Dichos archivos corresponden a las hojas de Puigcerdà (21721), Molló (21812 y 21822), La Pobla de Lillet (25121) y Ripoll (25611 y 25621). Al mapa así obtenido se le superpuso el inventario de MM y se notó la presencia de MM en sitios que teóricamente no tienen cobertura de suelo, razón por la cual se revisó cada una de estas ocurrencias y los polígonos correspondientes se reasignaron (unieron) al polígono más cercano que tuviera cobertura vegetal.

Posteriormente a todos los polígonos de las cicatrices se les calculó la pendiente topográfica promedio, obteniéndose un rango de variación de dicha variable. El valor mínimo del rango para cada área de estudio, se definió como el valor de la pendiente topográfica por debajo del cual el terreno no es susceptible a la ocurrencia de MM. Se encontró un valor mínimo θ , el cual fue utilizado para establecer las áreas de las zonas de estudio donde no se han observado MM y que deben interpretarse como áreas no susceptibles. La intersección del mapa de formación superficial y el mapa de pendientes mayores a θ resultó en la identificación de cuatro posibles escenarios de áreas: a) con formación superficial y pendiente mayor a θ , b) con formación superficial y pendiente menor a θ , c) sin formación superficial y pendiente mayor a θ y d) sin formación superficial y pendiente menor a θ , de las cuales se seleccionó el mapa para la opción a) por representar las condiciones ideales bajo las cuales ocurren las roturas del terreno. Este mapa se intersectó con el mapa de

inventario de roturas para obtener el número de roturas por km² equivalente de formación superficial y pendiente mayor a θ , realizando el conteo de cicatrices por km², valor que fue asignado a los nodos de la retícula. La aplicación de un algoritmo de kriging resultó en el mapa del campo de densidad de roturas de las áreas de estudio.

3.2.6 Construcción del mapa digital de precipitación

En el área de estudio se contaba con datos de precipitación registrados por estaciones meteorológicas existentes para las épocas de interés. Alrededor de cada estación se calculó el valor de las variables orográficas pendiente, orientación, curvatura y elevación a partir de un modelo digital de elevación – MDE con resolución de 5 m (IGN, 2010).

A continuación se analizaron las correlaciones entre las variables orográficas y la precipitación total utilizando el valor del coeficiente de determinación (R^2) para establecer el porcentaje de variabilidad de la precipitación que es explicado por cada variable orográfica.

Dado que se requiere establecer la relación entre un grupo de variables independientes (orográficas) con una variable dependiente (precipitación), se acudió al cálculo de la regresión lineal múltiple, mediante el cual se logra determinar la contribución de cada una de las variables del modelo en la explicación de la variación de la precipitación en el respectivo campo de lluvias. Este tipo de análisis, implementado en el programa SPSS® (Golden Software, 2010), permitió la construcción de expresiones como la Ecuación 5:

Ecuación 5: $P_{total} (mm) = C - \chi(Altitud) + \delta(Pendiente) + \varepsilon(Curvatura) + \eta(Distancia) - \varphi(Orientación)$

Donde P_{Total} es el valor de la precipitación, C es un término independiente y χ , δ , ε , η , y φ son las ponderaciones calculadas para cada variable orográfica.

Finalmente, mediante la aplicación de la herramienta “map álgebra” implementada en ArcGIS®, introduciendo los mapas de las variables ponderadas anteriormente descritas, se calculó el mapa digital de precipitación para las zonas de estudio.

3.2.7 Correlación entre campo de densidad de roturas y precipitación

Se requiere cuantificar el grado de relación entre dos variables y para ello se recurre al uso de diferentes coeficientes de correlación (dependiendo del tipo de datos: nominales, ordinales, de escala). En primera instancia se realizó la superposición de los mapas del campo de densidad de roturas y de precipitación, obteniéndose para cada nodo de la cuadrícula el número de MM asociado y la precipitación promedio que conforman la base de datos relacionada. El análisis de la relación entre los dos campos se realizó mediante el método de regresión lineal simple o correlación bivariada (Visauta, 2007), teniendo en cuenta que la línea de regresión debe pasar por el origen, asumiendo que los MM fueron generados únicamente por las lluvias y que si estas no se presentan el número de roturas debe ser cero (Finlay et al, 1997). Sin embargo, el valor mínimo de la precipitación por debajo del cual no hay

roturas (pero si lluvia) es precisamente el umbral de lluvia detonante y no cero precipitación.

Finalmente, tanto el campo de densidad de roturas como el de precipitación se analizaron estadísticamente siguiendo el procedimiento descrito en el apartado de resultados de cada zona de estudio.

4 RECONSTRUCCIÓN DE LOS MORLE DE MOLLÓ-QUERALBS, BARRUERA-VIELHA Y BERGA-CERCS

Las zonas de estudio se localizan en la parte NE de la península Ibérica (Figura 4.1), en la vertiente S de los Pirineos, entre el Principado de Andorra y el mar Mediterráneo; y entre la frontera francesa y los Pre-Pirineos (Figura 4.2).



(www.wikipedia.org)

Figura 4.1 Localización del área de estudio

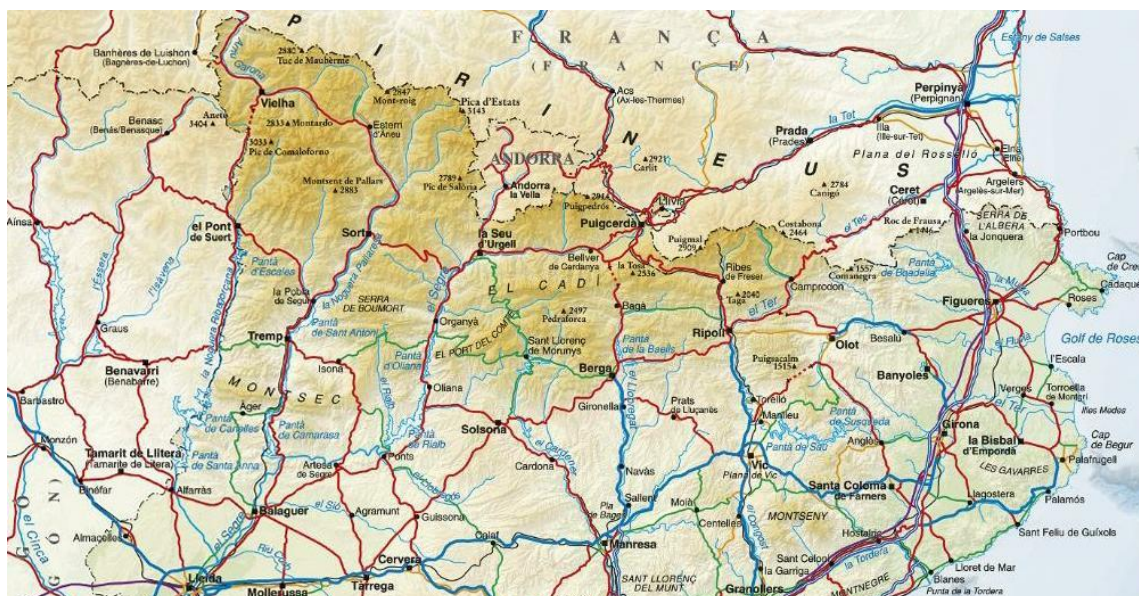
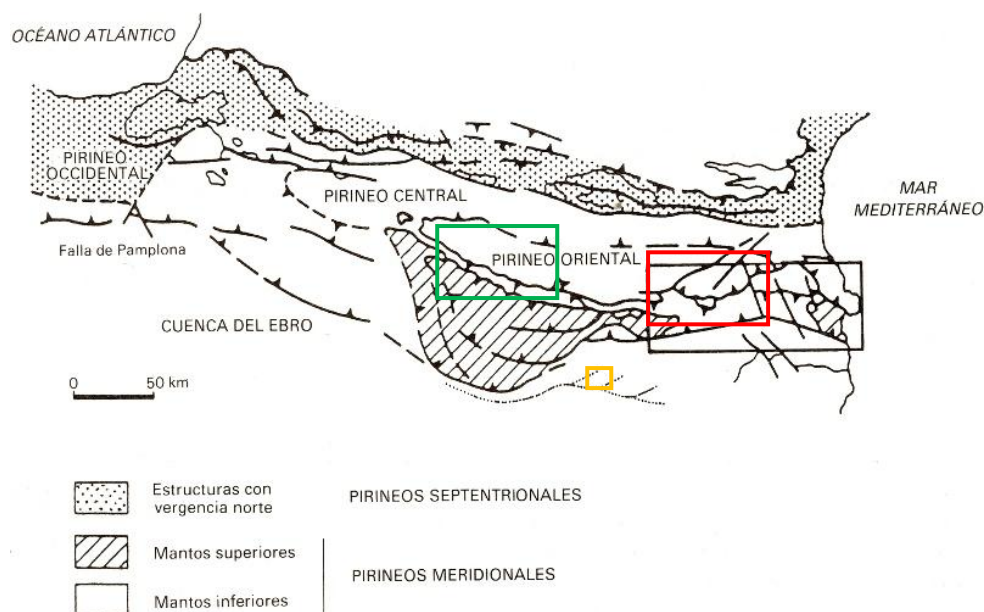


Figura 4.2 Rasgos geográficos del área de estudio.

Geológicamente, el área de estudio está localizada en el oriente de los Pirineos (Figura 4.3), donde afloran rocas meta-sedimentarias Paleozoicas y sedimentarias Terciarias.



Rectángulo rojo: Área Molló-Querolbs; Rectángulo verde: Área Barruera-Vielha y Rectángulo Amarillo: Área Berga-Cercs.

Figura 4.3 Mapa de unidades tectónicas del Pirineo (ITGE, 1994).

4.1 Molló-Queralbs

El área denominada Molló-Queralbs (MQ), debe su nombre a estos dos municipios localizados en la parte norte de la comarca del Ripollés (NW de la provincia de Gerona) a 130-150 km al N de Barcelona (Comunidad Autónoma de Cataluña, España). Al N limita con la frontera francesa (Prats de Molló-Saillagouse), al S con el eje Ribes de Freser-Camprodon, al E y W con los municipios de Molló y Queralbs, respectivamente (Figura 4.1).

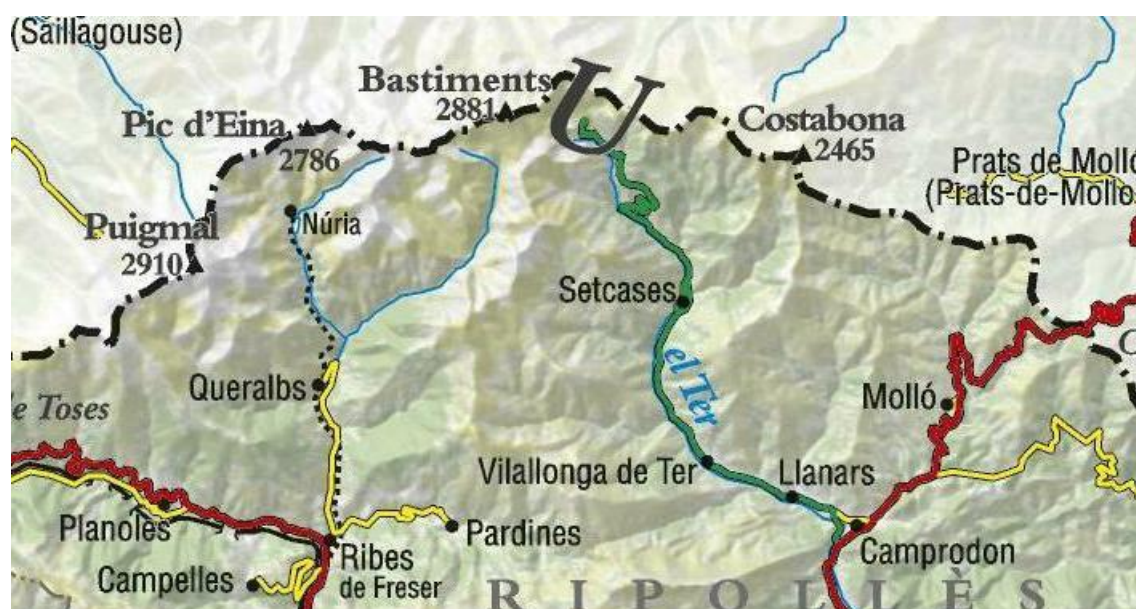


Figura 4.4 Localización del área Molló-Queralbs y referentes geográficos de los alrededores (ICC, 2014)

Presenta alturas que varían entre 500 m.s.n.m (Salarsa) y 2500-2900 m.s.n.m. (Picos de Costabona, Bastiments, Eina y Puigmal) y es drenada por los drenajes de las cuencas del Rigat, Nuria, Freser, Ruitort y Ter. La economía de la región se basa en el turismo (Vall de Nuria, Vallter) y la ganadería (ovejas y vacas).

Esta área abarca la mayor parte de la plancha geológica Molló_218, el sector SE de la plancha Puigcerdà_217, el NE de la plancha La Pobra de Lillet_255 y la franja N de la plancha Ripoll_256 (Figura 4.5).

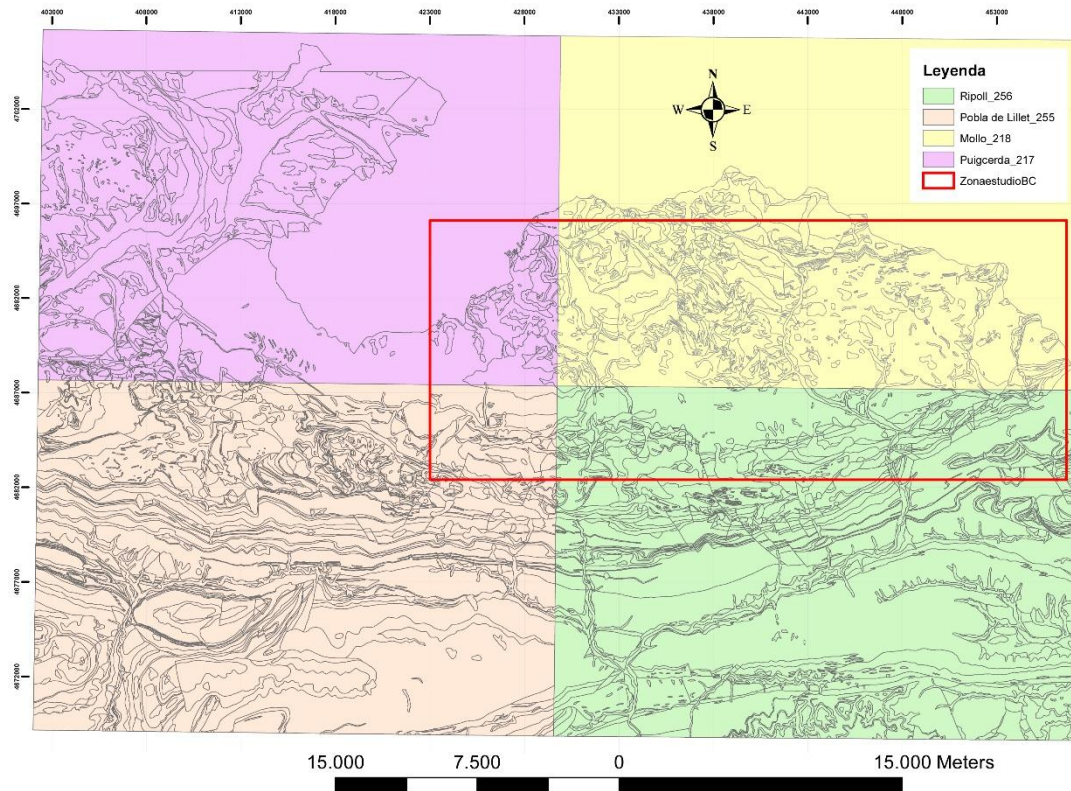


Figura 4.5 Planchas geológicas del área Molló-Queralbs

4.1.1 Sustrato rocoso

4.1.1.1 Precámbrico

Está constituido por los gneíses que afloran al N de Setcases (gneíses de Carançà, Figura 4.6) y en las cabeceras del río Ter (gneíses de Núria y gneíses de Queralbs). Los gneíses ocelares (Carançà y Núria, GN1), son heterogéneos y leucocráticos con grandes cristales de feldespato potásico, gneíses bandeados y gneíses leptínicos. Los gneíses de Queralbs (GN2), son

leucocráticos, de grano fino con alto contenido de cristales de feldespato y albita, incluidos en una matriz cuarzo-feldespática con moscovita y minerales accesorios.

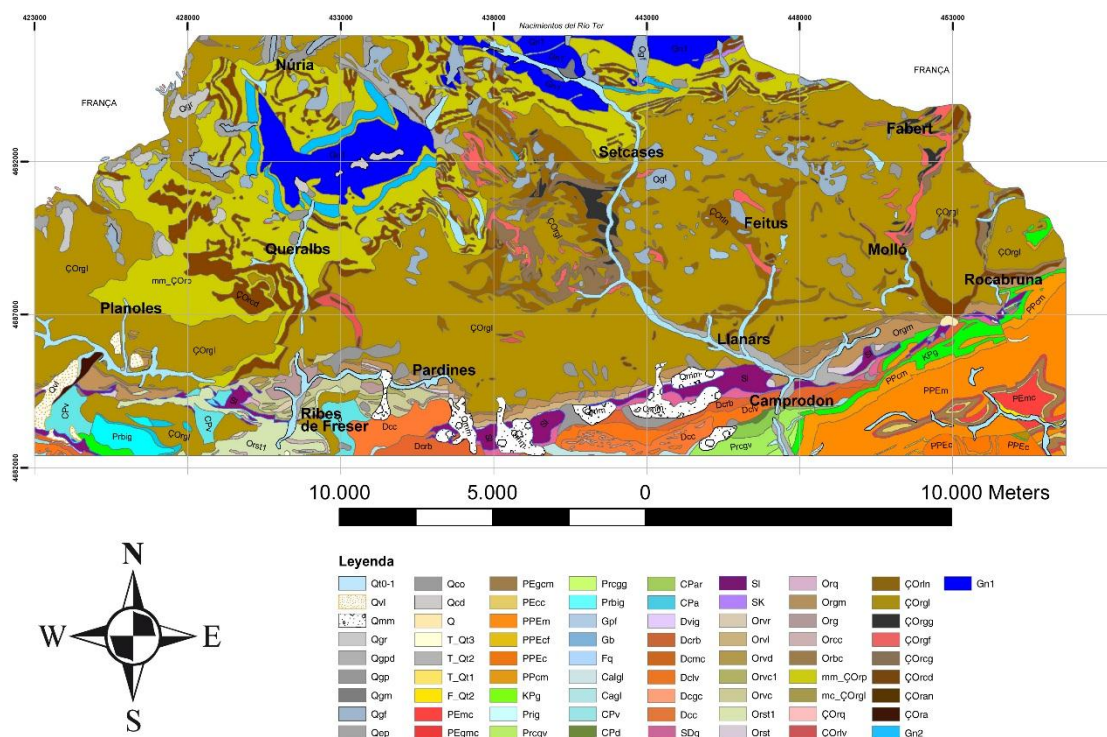


Figura 4.6 Mapa litológico del área Molló-Queralbs

4.1.1.2 Paleozoico

Está constituido por una alternancia rítmica de lutitas y areniscas, en su parte inferior con dimensiones milimétricas (*mm_Çorp*, Formación Canavelles, Figura 4.6) y en su parte superior dimensiones centimétricas (*Çorgl*, Formación de Jujols). En la secuencia inferior se encuentran intercalaciones de niveles calcáreos-dolomíticos (*ÇOrcd*) así como niveles de lutitas negras (*ÇOrln*), areniscas feldespáticas (*ÇOrcf*) y de gneises “granulé” (*ÇOrgg*); en la secuencia superior son frecuentes los conglomerados, lutitas negras (*ÇOrln*), areniscas feldespáticas (*ÇOrcf*), de gneises “granulé” (*ÇOrgg*) y de calizas (*ÇOrcd*).

Las rocas del Ordovícico superior al Devónico, afloran al sur del eje Molló-Avella-Ribes de Fresser-Planoles, formando una amplia franja con una orientación aproximada E-W. El Ordovícico superior (*Osup*) aflora en el sur de Rocabruna y está constituido por conglomerados, andesitas, areniscas y lutitas carbonáceas. El Silúrico (*Sl*), está conformado por lutitas negras con nódulos y niveles de caliza. El Devónico, es una secuencia de areniscas tipo grauvaca, limolíticas y cuarcíticas de color gris oscuro (*SDg*), calizas lutíticas con bancos de calizas (*Dcrb*), alternancia de calizas y lutitas carbonosas (*Dclv*) y calizas nodulares (*Dcc*). El Pérmico aflora en un área en forma de cuña (al sur de Camprodón) y está representado por capas detríticas rojas, mantos de carbón y materiales volcánicos (*Prcgv*).

4.1.1.3 Maestrichtiano-Paleoceno

Estas rocas afloran en el sector sur-oriental del área, formando una franja orientada NE-SO reposando sobre las rocas del Paleozoico superior. Las rocas del tránsito Mesozoico-Terciario, están constituidas por materiales detríticos en la parte inferior (alternancia de conglomerados, areniscas y lutitas de color rojo, *KPg*) y una alternancia de lutitas y calizas, con calizas masivas hacia el techo (*PPcm*).

4.1.1.4 Terciario

Afloran al SE del área, constituidas por sedimentos marinos paleógenos (Eoceno) y conformadas de base a techo por: calizas con alveolinas

(Formación del Cadí, *PPEc*); niveles de margas, margo-calizas y calizas (facies de transición); una potente sucesión de margas azules que pasan gradualmente a ser más detríticas con intercalaciones de calizas, calizas margosas y calizas arenosas en la parte superior (Formación de Sagnari, *PPEm*); areniscas, limos y margas con niveles esporádicos de calizas, detritos rojos (alternancia de areniscas, limos y arcillas rojas y algunos niveles calcáreos grises) y calizas (Formación de Corones, *PEcc* y *PEgcm*); y, margas calcáreas, margas con brechas y margas (Formación de Armàncies, *PEmc*).

4.1.1.5 Cuaternario

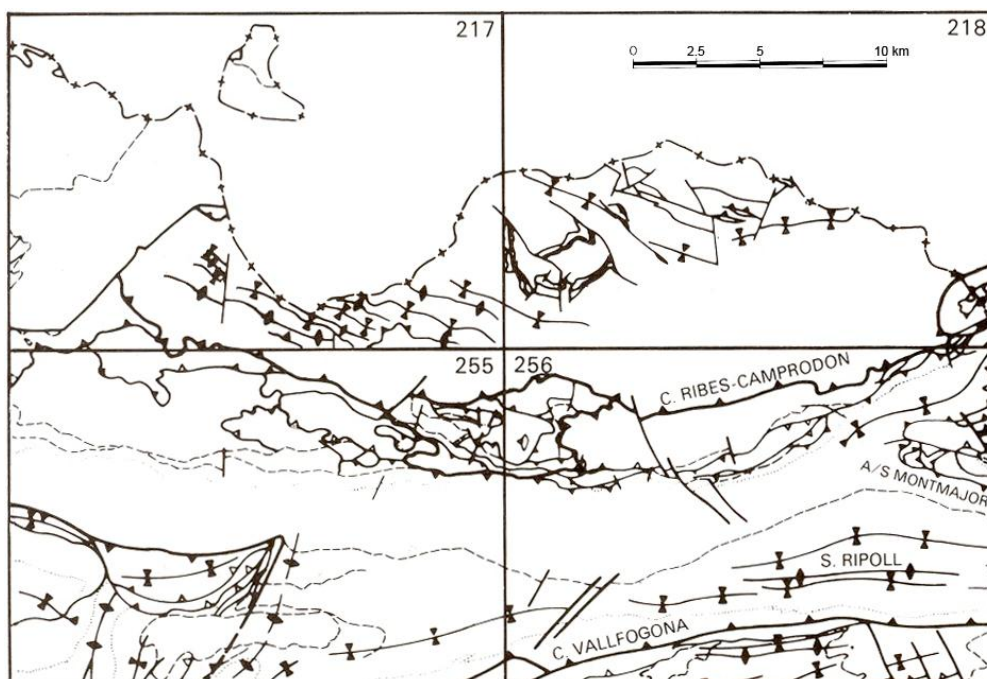
Los depósitos se pueden agrupar en: coluviales (*Qgf*); glaciales, fluvio-glaciales y glaciolacustres (*Qgm*); y, fluvio-torrenciales (*Qt0-1*). Los depósitos coluviales incluyen derrubios de vertiente, conos de derrubios y MM. Los derrubios de vertiente, se sitúan en las sierras de Fembra Morta y Costabona y se caracterizan por una gran homogeneidad y repetición de ritmos con gelifractos de 4 a 5 cm. Los más recientes están formados por gelifractos sin cementar producto de procesos de solifluxión, gelifluxión y crioturbación, que erosionan el sustrato y alimentan de derrubios a las vertientes. La dinámica de producción de derrubios puede canalizarse localmente y generar la aparición de conos de derrubios, al pie de paredes escarpadas. Los MM, antiguos y recientes, ocurren en toda la zona y están constituidos por importantes cantidades de materiales despegados de las laderas; los más importantes se localizan en Ull de Ter, en las inmediaciones de Molló y en el barranco de la Estremera.

Los depósitos glaciales, fluvioglaciales y glaciolacustres, son atribuidos a la última glaciación (Würm), que desarrolló morrenas terminales (en la mayoría de los casos han sido desmanteladas por la acción fluviotorrencial). Los depósitos glaciales contienen bloques métricos en una matriz arcillo-arenosa. Los materiales fluvioglaciales incluyen bloques heterométricos similares a los descritos en los tills e incluyen niveles de arenas lavadas con estructura interna y cantos imbricados. Igualmente hay presencia de pequeñas morrenas de nevero (depósitos cuya posición queda restringida al pie de la pared glaciar, constituidos por bloques con escasa matriz) y glaciales rocosos (acumulaciones de derrubios periglaciales).

Los depósitos fluvio-torrenciales y aluviales se encuentran restringidos a los fondos de los valles y se pueden observar en los valles del río Freser, Ter y Ritort.

4.1.2 Geología estructural

Las estructuras más sobresalientes son (Figura 4.7): 1) el cabalgamiento Ribes-Camprodón; 2) los anticlinales-sinclinales orientados NW-SE, al NNW de la zona de estudio; y, 3) el sistema de fallas que afecta a los materiales del Estefano-Pérmico, Silúrico y Devónico y lo pone en contacto con los de edad Maestrichtiano y Paleógeno.



Las cabezas de flechas convergentes y divergentes indican sinclinales y anticlinales respectivamente. Líneas discontinuas tenues: contactos geológicos. Líneas continuas gruesas: fallas. Otras convenciones como en la Figura 4.3

Figura 4.7 Esquema estructural de la zona oriental de los Pirineos Meridionales Orientales (ITGE, 1994).

El cabalgamiento de Ribes-Camprodón, principal rasgo tectónico de la región con orientación NE-SWW (Figura 4.8), limita las unidades tectónicas alpinas del Canigó (al N) y la unidad del Cadí (al S). También separa los materiales del Cambriano-Ordovícico, Pérmico y Silúrico, al N, de los materiales del Devónico y del Carbonífero situados al S.

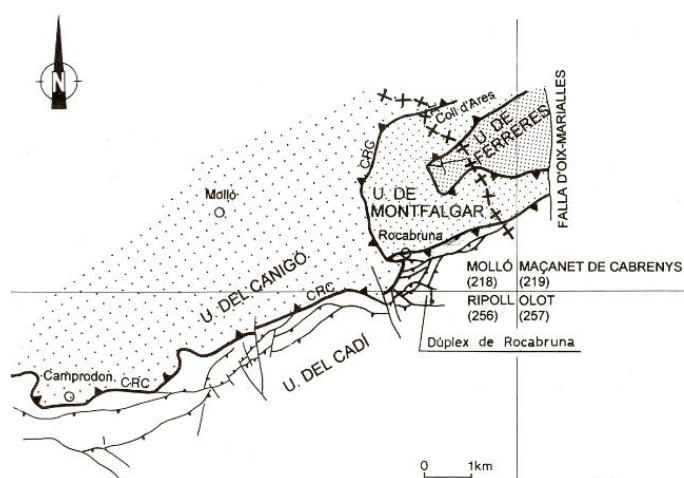


Figura 4.8 Esquema estructural de las unidades tectónicas alpinas del área Molló-Queralbs (ITGE, 1994).

En resumen los materiales rocosos aflorantes en el área han sido afectados por tres grandes eventos deformativos: la orogenia Hercínica, la Alpina y la distensión Neógena. La orogenia Hercínica, dio origen a los plegamientos de las rocas del Paleozoico; la Alpina, a los cabalgamientos que afectan las rocas paleozoicas, mesozoicas y terciarias (como se observa en el SE del área de estudio); y, la distensión Neógena, originó las fallas normales que afectan a los gneises y a las rocas Cambriano-Ordovícicas de la zona del Freser.

4.1.3 Rasgos morfológicos y formaciones superficiales

4.1.3.1 Rasgos morfológicos

Los principales rasgos morfológicos se describen en los siguientes apartados.

1) Relieve de Lomeríos (Figura 4.9): al Este de Camprodón y Sur de Rocabrúna, sector SE del área de estudio. Lomas cónicas truncadas con alturas entre 500 y 1000 m.s.n.m., cuyo drenaje principal está constituido por las rieras de Salarsa, Beget y sus afluentes; en el destacan los picos del Castell de Rocabrúna, Puig Cubil, Puig de Rocaquirol, Puig dels Arcons y Puig Xoriguer.

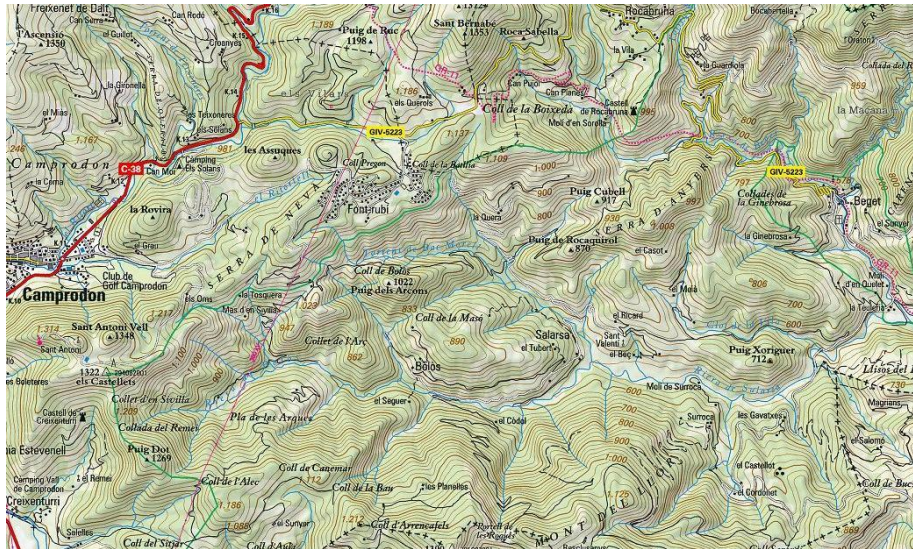


Figura 4.9 Relieve de l'omeríos al E de Camprodon y S de Rocabrunga (ICC, 2010)

2) Sierras E-W (Figura 4.10): al sur del área de estudio, entre Camprodon, Ribes de Freser y Dòrria. Montañas con filos alargados en dirección E-W, con alturas entre 1.000 y 2.000 m.s.n.m., cuyos drenajes están representados por el Rigat, el Segadell, la riera d'Abella y sus afluentes. Los principales rasgos topográficos, en esta área, son: la Serra de Montgrony (al S de Planoles), Serra de Cunivella y Serra Cavallera (al S del eje Camprodon-Ribes de Freser), Serra de Sant Bernabé (entre Abella y Pardines), Serra de l'Estremera - Serra de la Baquerissa (entre Batet y el Puig de Dòrria).

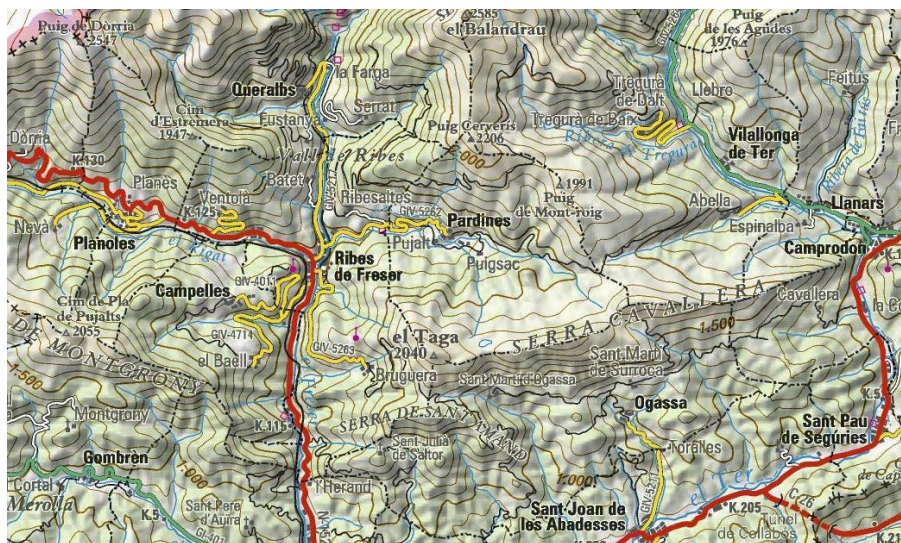


Figura 4.10 Relieve de sierras E-W (ICC, 2010)

3) Sierras N-S y Línea de Crestas Pirenaicas (Figura 4.11): centro y norte del área, al norte del eje Molló-Queralbs hasta la frontera con Francia. Conjunto de montañas alargadas con filos orientados en dirección N-S, con alturas variando entre 1200 y 2900 m.s.n.m., cuyos drenajes están constituidos por el Freser, el Ter, el Ritort y sus afluentes. Algunos rasgos distintivos son: la Serra del Borrut-Embut (al E del Puigmal), Serrat de les Pedrisses (al E de Núria), Serra de la Canya – Serra de la Vaca (entre Pardines y el Pic de Freser), Serra del Catllar (al W de Setcases), las Sierras del Feitús – Puig Sistra – Costabona, Serrat de Sant Joan (N de Espinavell) y Serrat de la Perdiu (N de Fabert). La línea de crestas de la zona axial pirenaica, incluye rasgos prominentes que de W a E son: Puig de Dòrria, Tossa del Pas dels Lladres, Puigmal, Cim de Finestrelles, Pic d'Eina, Pic de Noufonts, Pic de Noucreus, Pic de Freser, Bastiments, Pic de la Dona, Costabona y Montfalgars.

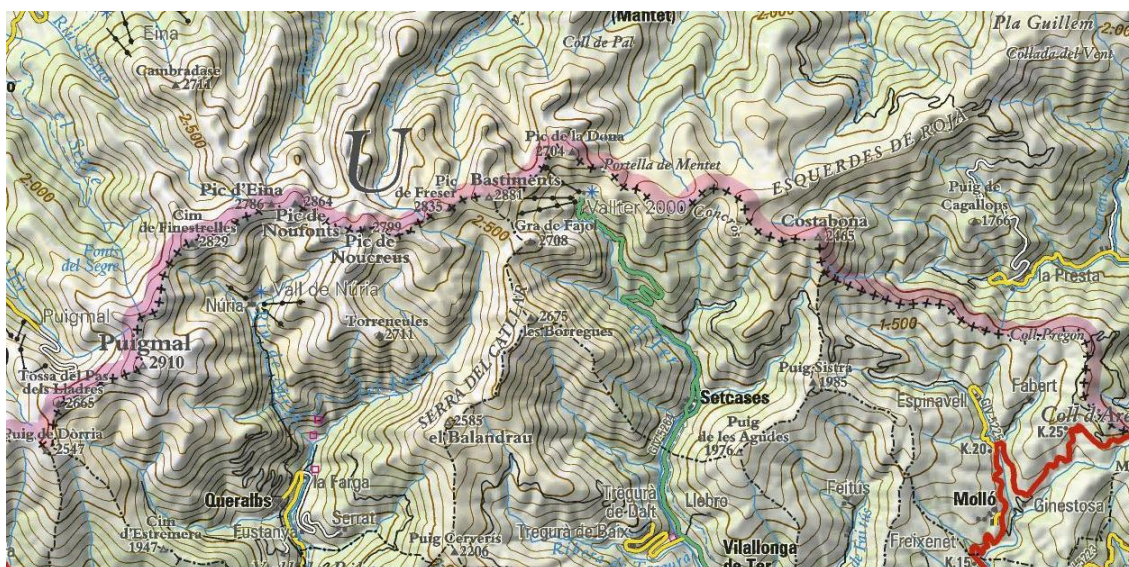


Figura 4.11 Relieve de sierras N-S y línea de crestas pirenaicas (ICC, 2010)

4) Valles Fluviales: La red de drenaje pertenece a la cuenca del río Ter que nace en el Pic de Bastiments, con aportes del río Freser en Ripoll. Otro río de

importancia es el Ritort, que nace en Roques d'en Mercer. Estos drenajes, junto con la ribera del Feitús, presentan una orientación preferencial N-S, a excepción del Ter en el trayecto Sant Pau de Segúries – Ripoll. Otros drenajes de importancia, con orientación E-W, están conformados por el Rigart, el Segadell y la riera de Abella.

4.1.3.2 Formaciones superficiales

Los rasgos morfológicos descritos anteriormente corresponden al reflejo geológico del sustrato y a los agentes que han actuado sobre él. Así, el relieve de lomeríos se desarrolla sobre las rocas calcáreas del Terciario; las sierras E-W obedecen a la presencia de las estructuras asociadas al cabalgamiento de Ribes – Camprodón que afectan a las rocas detríticas del Ordovícico superior - Devónico, Silúrico y del Pérmico; las sierras N – S y líneas de crestas pirenaicas, se presentan en las rocas meta-sedimentarias del Cambro-Ordovícico y los gneises del Precámbrico; finalmente, sobre las unidades anteriores se desarrolla el drenaje, que de acuerdo a la acción de los agentes y procesos geomórficos da origen a los diferentes depósitos y formaciones superficiales.

De acuerdo a ITGE (1994), en el área se observan los procesos (modelados) y depósitos propios de las dinámicas: glacial, periglacial, fluvial, fluvio-torrencial y antrópicas; cuyas morfologías y formaciones superficiales se presentan en la Figura 4.12.

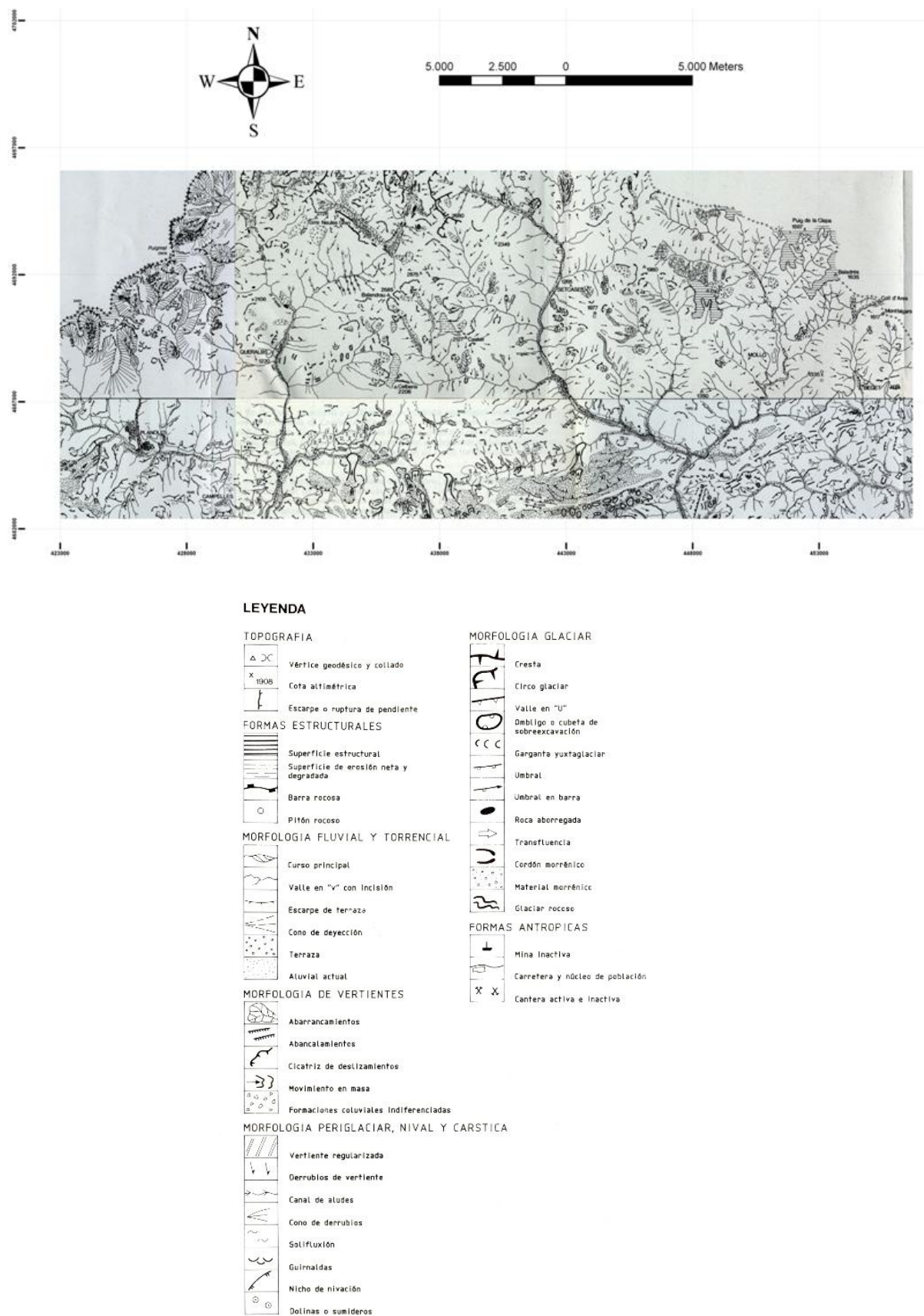


Figura 4.12 Mapa geomorfológico y de formaciones superficiales del área Molló-Queralbs (ITGE, 1994)

1) *Modelados glacial y fluvioglacial.* El modelado glacial se observa en los ríos Núria, Freser y en un afluente del torrente Coma de la Vaca, al NE de la zona de estudio. Las cubetas de sobre-excavación, colmatadas por depósitos fluvio-torrenciales y lacustres, se observan en Núria, Coma de Freser y al pie de los circos glaciares como Bastiments y Nou Fonts. La acción de pulido y desgaste, generó morrenas de bloques métricos en una matriz arcillo-arenosa; estos depósitos aparecen colgados en las vertientes de valles como el del Freser. Como formas superficiales, se encuentran arcos morrénicos en la Llosa y morrenas laterales en el Costabona, el Freser y en la confluencia de la Coma d'Orri y el río Ter. En Setcases y Queralbs, se encuentran los restos morrénicos del Ter y Freser. Los depósitos glaciales, cerca de Queralbs, contienen bloques embebidos en matriz areno-limosa provenientes del desmantelamiento de terrazas fluvioglaciales anteriores. El sector más oriental afectado por la acción glacial, es el macizo de Costabona, con morrenas laterales hasta los 1.780 m de altura (ICC, 1994). Ejemplos de esta morfología glacial se presenta en la Foto 4.1 y Foto 4.2.



Foto 4.1. Valle glaciar de Coma de Vaca en la cabecera del río Freser. (Foto: J. Coorminas)



Foto 4.2 Valle glaciar (perfil transversal en artes) del Concrós, en la cuenca del río Ter. (Foto: J. Coorminas)

Al N de Setcases, en el torrente de Carboner, se encuentran los depósitos fluvio-glaciales del Ter, constituidos por una base de lentes de arenas lavadas con bloques de hasta 2 m, arenas con un nivel carbonoso y, en el techo, lentes de arenas lavadas con cantos y bloques imbricados. La presencia de depósitos morrénicos, también se pueden observar en el sector de Setcases (Foto 4.3).



***Foto 4.3 Depósito morrénico del glaciar del Concrós en lateral del sector de Setcases.
(Foto: J. Corominas)***

2) *Modelado periglacial*. Se explica por las condiciones climáticas y por la litología (las rocas esquistosas son muy sensibles a la gelifracción y facilitan la acumulación de los productos generados). Este modelado es el responsable de los procesos de derrubios estratificados, MM, y canales y conos de derrubios. El modelado afectó las vertientes por encima de los 1.000 m. siendo más acentuado a partir de los 1.400 m. Este proceso igualmente es responsable de la acumulación de derrubios estratificados en las laderas de las montañas pirenaicas, alcanzando espesores promedio de 4 metros. Los MM se producen

en esquistos meteorizados, entre los 1.700 y los 2.100 m, como el del Collet de les Barraques en las vecindades del barranco de la Estremera, en Ull de Ter y en las proximidades de Molló; entre 200 y 2500 m. En el Puig Sistré, se encuentran formas fósiles de MM. Los canales y conos de derrubios, solo se ven en las zonas bajas de los valles del Ter y del Freser; en las vertientes meridionales de los relieves devónicos, se localizan canales de avalanchas y conos de derrubios, además de canchales. Estas últimas se sitúan en la loma de Sant Amanç y en las vertientes septentrionales que desembocan al río Salarsa.

Los glaciales rocosos son comunes en cotas superiores a los 2.000 m. Están constituidos por acumulaciones de bloques con poca matriz y morfologías lobulares, los desarrollados en esquistos tiene un mayor contenido de finos en la matriz y presentan mayor cobertera herbácea. También se encuentran algunos restos morrénicos de pequeños glaciares de circo, como los de la cabecera de la Coma de la Vaca, Nou Fonts y Ull de Ter.

3) *Modelado estructural.* Las rocas Cambro-Ordovícicas presentan un modelado suave, apenas afectadas por estructuras menores (pliegues y fallas), mientras que las rocas del Ordovícico superior definen alineaciones en el paisaje, con lomos alargados como expresión de la fuerte esquistosidad. El Silúrico desarrolla un rellano a media vertiente y una serie de pequeñas depresiones generadas por las aguas de escorrentía. El Devónico presenta una morfología escalonada en las vertientes meridionales, mientras que en las septentrionales se sitúan los deslizamientos de ladera de mayor magnitud. Las rocas Pérmicas, debido a la alternancia de materiales duros y blandos, generan vertientes e interfluvios escalonados; mientras que los sectores arcillosos

presentan “badlands” locales. Las rocas Paleógenas, del flanco septentrional del sinclinal de Ripoll, generan vertientes escalonadas con desarrollo incipiente de bolas; mientras que el pronunciado buzamiento en la Formación de Corones, origina desplomes de fragmentos de capas como el del Puig de Corones.

4) *Modelados fluvial y torrencial.* El amplio valle del río Ter tiene curso subsecuente con diferentes niveles de terrazas; sin embargo, en el sector Camprodón - Sant Pau de Segúries tiene carácter de antecedente. El río Freser, se comporta como subsecuente y su valle fluvial presenta gran encajamiento y escaso desarrollo de terrazas; sus cursos tributarios son torrenciales. Los depósitos del río Ter incluyen tres niveles de terrazas: el superior, que localmente alcanza 4 m. de espesor, está constituido por un paquete heterogéneo de gravas y arcillas arcósicas, con cantos de tamaño decimétrico; la terraza media, tiene un mayor contenido en finos y se observan capas de gravas con estructura interna, su potencia puede superar los 8 m.; la terraza baja, está constituida por gravas y el espesor suele estar entre 2 y 3 m. El Rigart, el Segadell y la Riera de Abella, son subsecuentes y su orientación E-W coincide con el cabalgamiento Ribes-Camprodón. El río Salarsa orientado E-W, con ligeros cambios de rumbo, es subsecuente y se caracteriza por valles estrechos, con presencia de terrazas y conos de deyección.

5) *Modelado actual.* Está representada por los procesos nivales, periglaciales, fluviotorrenciales y por la actividad antrópica. Los procesos nivales y cársticos desarrollan formas de escorrentía, absorción y emisión sin desarrollo de formaciones superficiales. Hacia el sur, se han diferenciado algunos nichos de nivación y arroyada nival, como acción superficial de escorrentía. Los sistemas

cársticos se sitúan en los relieves calcáreos de las sierras de Conivella y Cavallera y entre los 2.400 y 2.600 m. de altura. Dentro de las formas de infiltración se tienen las depresiones nivocársticas, pozos de nieve y dolinas; estas últimas se disponen con una orientación E-W y están localizadas en las vertientes septentrionales de las sierras de Conivella y Cavallera, en alturas superiores a 1.700 m. Las formas de emisión, están representadas por los lagos, con sustrato Silúrico impermeable.

Dentro de los procesos periglaciales están la solifluxión, la gelifluxión y la crioturbación. La solifluxión se presenta a partir de los 2000 m., donde el grado de humedad y el poco espesor de las formaciones superficiales hacen que estas sean fácilmente erosionables. La gelifluxión, representada por el desplazamiento grano a grano, se da en alturas superiores a los 2.000 m.; cuando este proceso se desarrolla asociado a la presencia de vegetación herbácea, que frena el desplazamiento, se produce en suelos con guirnaldas, muy extendidos en la Coma de la Vaca. La crioturbación, en los altiplanos situados entre 2.000 y 2.500 m., provistos de formación superficial y un manto vegetal continuo, produce césped almohadillado y ostiolos; estas formas se dan en zonas húmedas del Pla de la Coma Armada.

La dinámica fluviotorrencial produce encajamientos de 4 a 6 m de los principales cursos de agua, en las terrazas y en las formaciones superficiales periglaciales. En las vertientes, esta dinámica ha producido importantes abarrancamientos como el torrente de la Cassasa, causando que las aguas se carguen de sedimentos aumentando su densidad y su capacidad erosiva y de transporte; llevando consigo inundaciones muy importantes y con consecuencias catastróficas en los ríos Ter y Freser en las localidades de

Ripoll, Campdevàrol, Ribes de Freser y Camprodon, tanto en 1982 como en las famosas lluvias del mes de Octubre de 1940 (ITGE, 1994).

El desarrollo de la industria de armas, la agricultura y la ganadería conllevaron a la progresiva degradación de los bosques y a un aumento paulatino de la deforestación en la comarca del Ripollès. La deforestación y el sobrepastoreo han desmantelado la cubierta vegetal generando procesos de reptación en los depósitos cuaternarios de vertiente. De igual forma en la zona se dio una importante actividad minera (desde 1885 hasta los años 50's) y de explotación de canteras, creando morfologías nuevas que rompen el perfil de equilibrio de las vertientes.

4.1.4 Reconstrucción de los eventos

4.1.4.1 Breve descripción del evento de octubre de 1940

El denominado “Aiguat de 1940” fue un episodio de lluvias torrenciales que tuvo lugar entre los días 16 a 20 octubre de 1940 en el sector oriental de los Pirineos, afectando tanto las vertiente norte francesa como la sur, provocando inundaciones devastadoras. Las cuencas afectadas fueron fundamentalmente las de los ríos Ter, Muga y Fluvià en la vertiente Sur y las del Tec, Tet y Agli en la vertiente Norte. El episodio de la vertiente francesa fue descrito por Pardé (1941) y posteriormente, con mucho más detalle, por Soutadé (1993).

Oficialmente se registraron 840 mm de lluvia sólo contando el 17 de octubre, registro que le convierte en el récord de precipitación registrado en Europa en 24 horas, aunque los servicios meteorológicos habían sido interrumpidos

debido a la II Guerra Mundial. Existe también un registro en Saint Laurent de Cerdans de 1,930 mm en los cinco días que se alargó el episodio, 1.000 mm de los cuales concentrados el 17 de octubre. La crecida del río Tet en Perpignan alcanzó los 3000 m³/s (Soutadé, 1993).

El balance de pérdidas fue cuantioso, agravado por el hecho de que ocurrió poco tiempo después de finalizada la guerra civil. El número de víctimas del episodio fue de más de 350 muertos, 60 de ellos en la población de Torelló en la cuenca del río Ter.

Coincidiendo con las lluvias tuvieron lugar cientos roturas en las laderas, especialmente en los alrededores del macizo del Canigó, en la vertiente Norte. Las laderas recubiertas de coluviones fueron prácticamente desmanteladas por corrientes de derrubios (“xalades” en terminología local) y también los depósitos de origen morrénico (Foto 4.4)

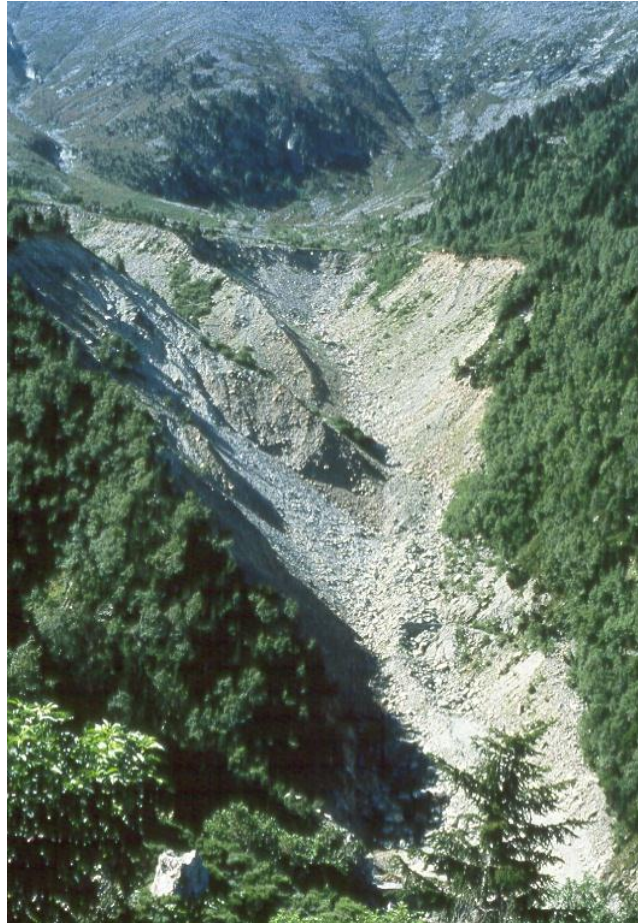


Foto 4.4 Rotura de los depósitos morrénicos en la cuenca de los Cortalets producida en los eventos de Octubre de 1940 y 1970, macizo del Canigó, Francia

La gran cantidad de sedimentos arrastrados por los barrancos, alcanzó las zonas habitadas situadas aguas abajo generando importantes depósitos de acarreos como los observados en la localidad de Vernet-les-Bains (Foto 4.5)



Foto 4.5 Proximidades de Vernet-les-Bains antes y después del aguacero de 1940. Deposición forzada de la carga sólida por el cambio de pendiente y reducción de la velocidad. Formación de barras de bloques y gravas y ensanchamiento del lecho (régimen trenzado) (foto <http://www.vernet-les-bains.fr>)

Sin embargo, el deslizamiento más espectacular fue el de l'Avellanosa (Baillanouse), 3km aguas debajo de Prats de Molló. La rotura tuvo lugar el día 18 de Octubre, 500m por encima del cauce actual, movilizand o entre 6 y 7 millones de metros cúbicos que se precipitaron sobre el cauce del río Tec. A pesar que el deslizamiento ocurrió en plena crecida, fue capaz de provocar la obturación del río i generar una presa de más de 60m de altura que fue desmantelada por la erosión de las aguas en cuestión de unas cinco horas (Corominas, 1985).

4.1.4.2 Inventario de movimientos en masa

En este capítulo sólo se han analizado las roturas que tuvieron lugar en la vertiente Sur. El inventario de MM se construyó mediante el análisis de las fotografías aéreas del vuelo del Servicio Geográfico del Ejército (1956/1957),

que presentan deterioro físico debido al tiempo transcurrido desde la toma del vuelo hasta el momento de la consulta (2010), lo cual hace difícil la identificación plena de cicatrices y a que algunas de ellas no estén bien delimitadas; adicionalmente, esto también puede conllevar a que se incluyan roturas que realmente correspondan a zonas quemadas o a canchales. De otra parte, al no haber fotografías aéreas de fecha anterior a la ocurrencia de las lluvias, se asume que todas las cicatrices inventariadas son producto de las lluvias de octubre de 1940; y, adicionalmente, en el tiempo transcurrido desde la ocurrencia de las lluvias y la toma de las fotografías (16 años) se pueden haber revegetado las cicatrices y no ser detectadas como tales en los fotogramas. Estas razones junto con la escala pequeña (1:30.000) hacen que se tenga incertidumbre sobre el inventario obtenido, el cual por tanto no es completo; sin embargo, es claro que con la información existente y la calidad de la misma, es lo que se puede obtener.

Con las anteriores salvedades se realizó el inventario de MM mediante el análisis de las fotografías aéreas: Molló_218 (Pasada B = 58489 a 58493, Pasada C = 58252 a 58263, Pasada D = 54502 a 54513) y Ripoll_256 (Pasada A = 54831 a 54839 y 60222). Se clasificaron como corrientes de derrubios, aquellos cuyas cicatrices presentan continuidad espacial hacia la zona de tránsito (drenaje encausado) y la forma de las partes superior y media de un reloj de arena (1 en la Figura 4.13); y, como deslizamientos superficiales, aquellos que carecían de continuidad hacia la zona de tránsito (2 en la Figura 4.13). En estas fotografías se observan cicatrices de movimientos en masa cuya zona de tránsito está revegetada y cuyo tono es gris oscuro (0 en la

Figura 4.13), que se interpretaron como más antiguos a 1940 y por lo tanto no se tuvieron en cuenta en el inventario.

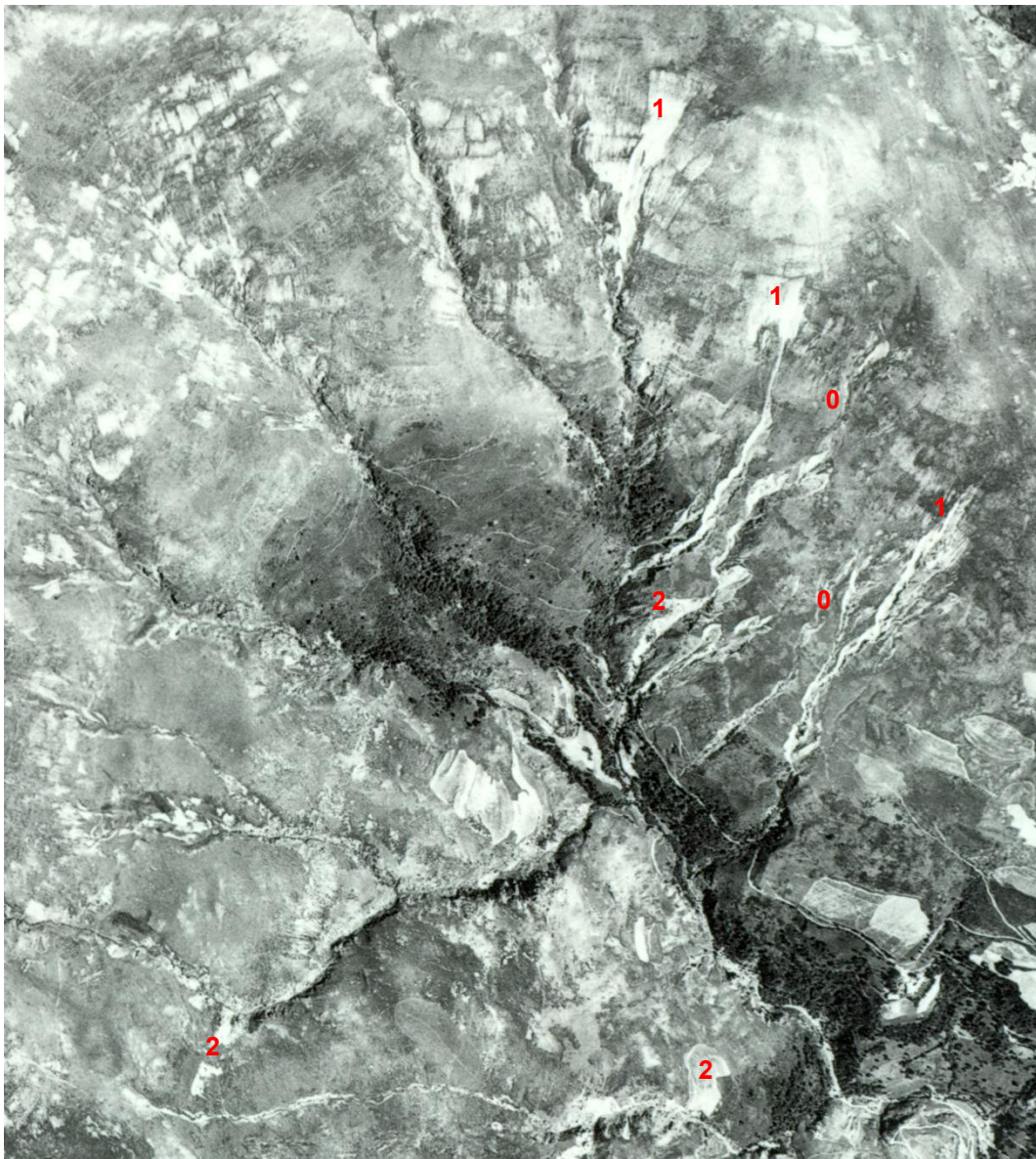


Figura 4.13 Tipología de movimientos en masa del área Molló-Queralbs. Números explicados en el texto

El procedimiento de recopilación de información acerca de roturas en el área de Molló-Queralbs resultó en un inventario de 620 MM (Anexo 2), 326 de los cuales corresponden a Deslizamientos Superficiales (DS) y 294 a Corrientes de

Derrubios (CD) distribuidos en un área de 411.75 km² (Figura 4.14), por lo cual un resultado es la clasificación de este conjunto de MM como un MORLE.

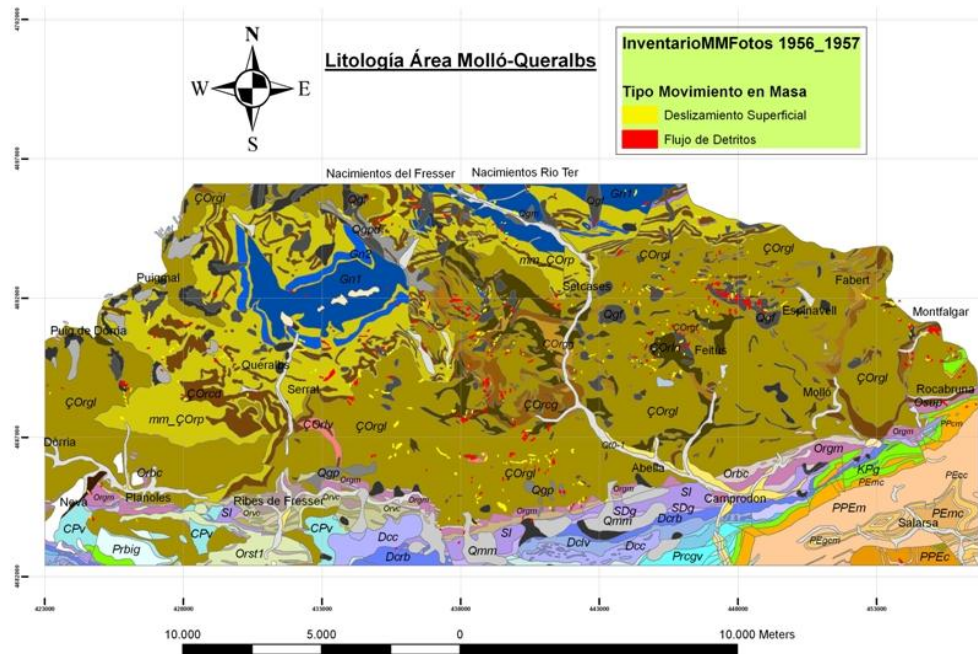


Figura 4.14 Mapa geológico e inventario de movimientos en masa del área Molló-Queralbs

El análisis estadístico de estos datos (Figura 4.15), revela que: 1) la distribución de ambos tipos de MM es asimétrica hacia la derecha y leptocúrtica, 2) la moda del área de la cicatriz de la rotura está entre 1000 y 2000 m² y 3) al menos el 90% de los MM tienen un área de cicatriz menor a 10.000 m². Los anteriores resultados, así como una inspección visual de gráficos de barras indican que los dos tipos de MM no son diferenciables estadísticamente.

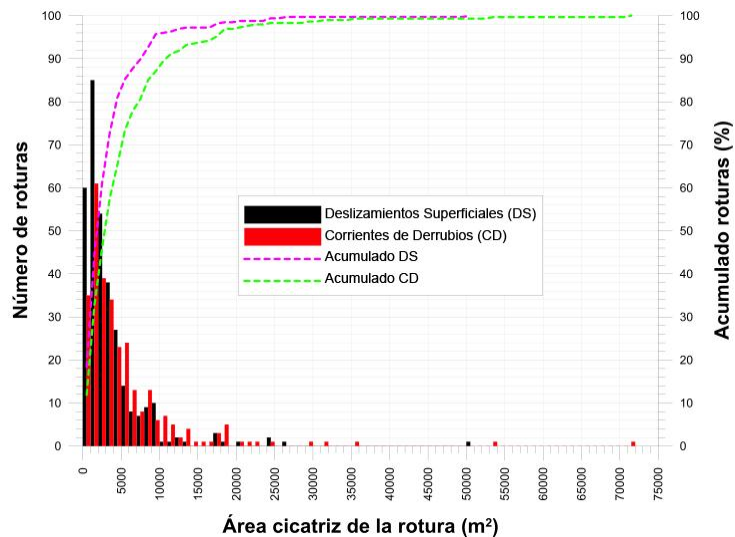


Figura 4.15 Diagrama de barras del inventario de movimientos en masa con respecto al área de la cicatriz.

Los cálculos preliminares arrojaron densidades de roturas por km² así: 1.51 MM/km² (0.80 DS/km² y 0.71 FD/km²). Ellos se concentran en: la vertiente W del río Ter (entre Abella, Setcases y Serrat) y en la vertiente E del río Ter (entre Espinavell, Feitús y Setcases); al W, en la zona de Puigmal-Puig de Dòria-Queralbs; al N, en los nacimientos de los ríos Fresser y Ter (frontera con Francia); y, al E, en el área entre Fabert, Rocabruna y Montfalgar (frontera con Francia). Algunos MM se presentan aislados: al N de Dòria, entre Nevà y Planols, al N de Setcases y en Puig Ou (al SE de Camprodon). Los sitios geográficos mencionados anteriormente se pueden observar en la Figura 4.16.



Figura 4.16 Sitios geográficos del área Molló-Queralbs (ICC, 2014)

La superposición de la distribución espacial de los MM y el mapa geomorfológico y de formaciones superficiales (Figura 4.17), muestra que éstos afectan formaciones superficiales y el sustrato rocoso alterado y que se concentran en morfología periglacial (derrubios de vertientes), morfología de pendientes (formaciones coluviales) y morfología glacial (morrenas); siendo los derrubios de vertientes, las formaciones superficiales desestabilizadas con mayor predominio.

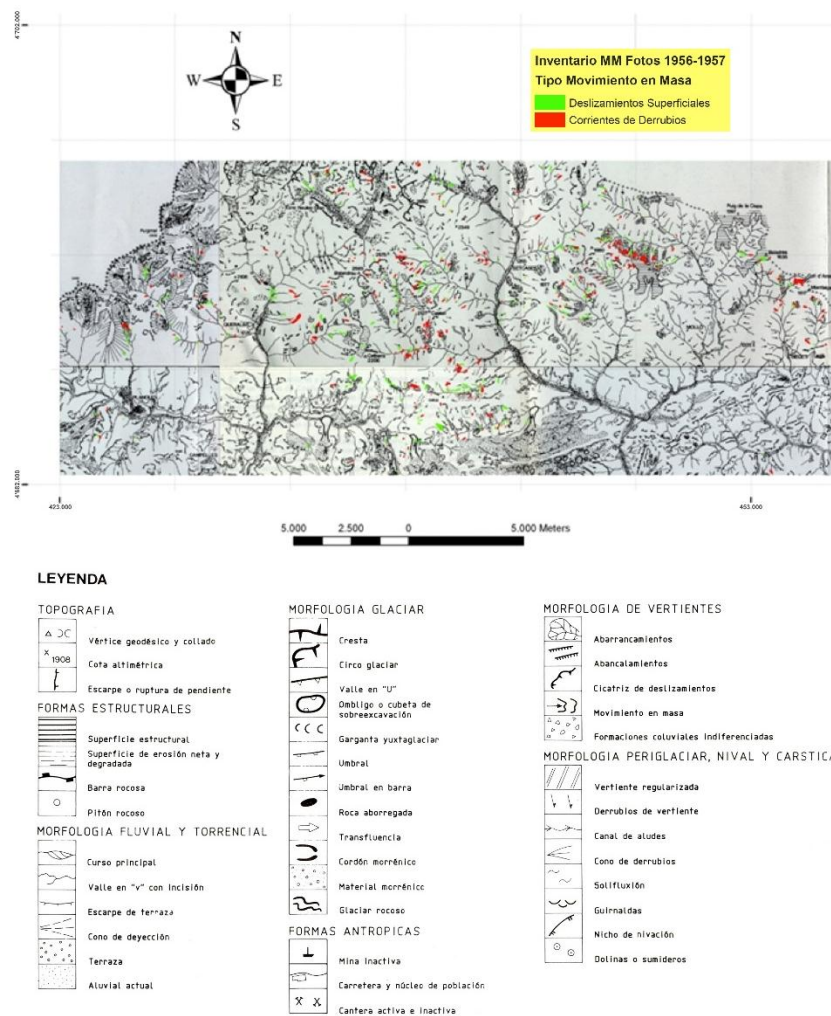


Figura 4.17 Inventario de movimientos en masa y mapa geomorfológico y de formaciones superficiales (ITGE, 1994).

El histograma del área de las roturas muestra que los datos de los MM considerados en un solo conjunto presentan una asimetría leptocúrtica (distribución asimétrica con cola hacia la derecha) (Figura 4.18). Esto se explica por que la mayoría de los movimientos en masa presentan áreas de rotura menores a 15.000 m² y pocos en el rango entre este valor y los 85.000 m².

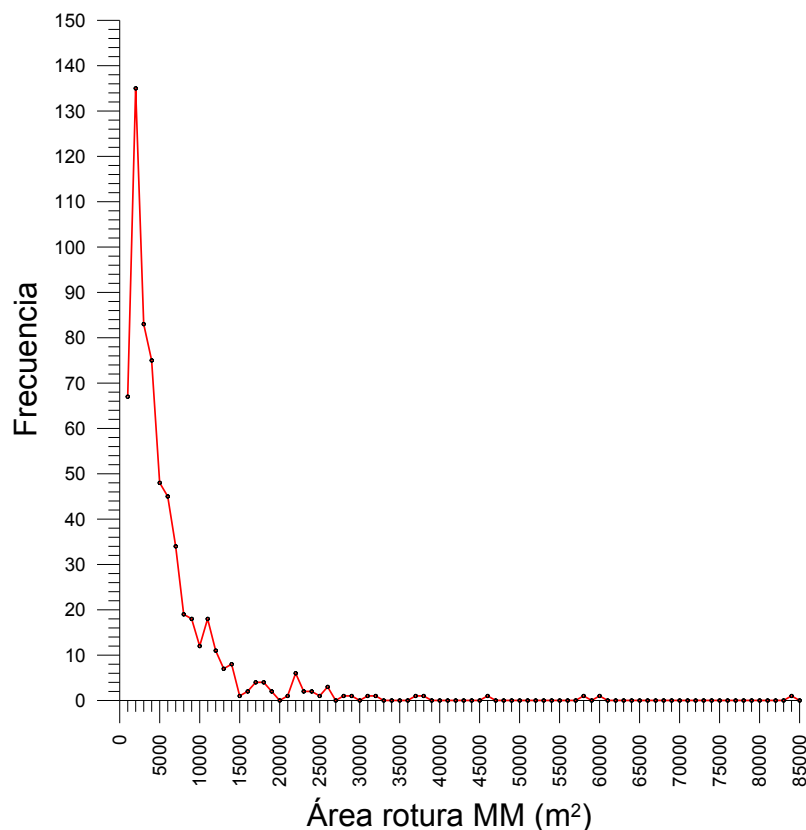


Figura 4.18 Histograma de frecuencias del área de la rotura de los movimientos en masa del área Molló-Queralbs

Las amplitudes de intervalo, calculadas usando los algoritmos de Sturges en 1926, Scott (1979) y Freedman y Diaconis en 1981, son 8192.05, 2903.13 y 1317.61, respectivamente. Al utilizar como ancho de intervalo el valor estimado por el algoritmo de Scott (1979) y graficando el valor central de cada intervalo en función de la frecuencia de los datos en cada intervalo, se obtiene el

histograma suavizado de la Figura 4.19, que muestra que la distribución corresponde una ley de potencias.

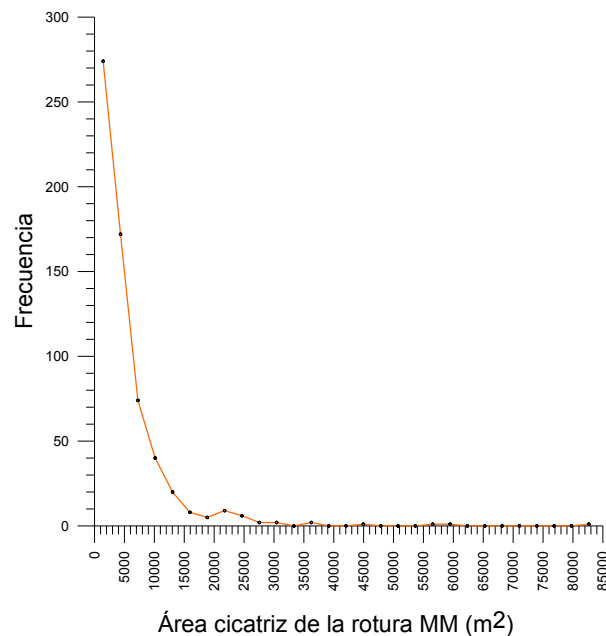


Figura 4.19 Histograma suavizado de frecuencias del área de rotura de los movimientos en masa

La aplicación de los métodos LT (Log Transform), LB (Logarithmic Binning) y LBN (Logarithmic Binning with Normalizatoion), revela que los datos se pueden modelar por medio de expresiones logarítmicas que graficadas de manera apropiada sugieren fuertes tendencias lineales (Figura 4.20, Figura 4.21 y Figura 4.22).

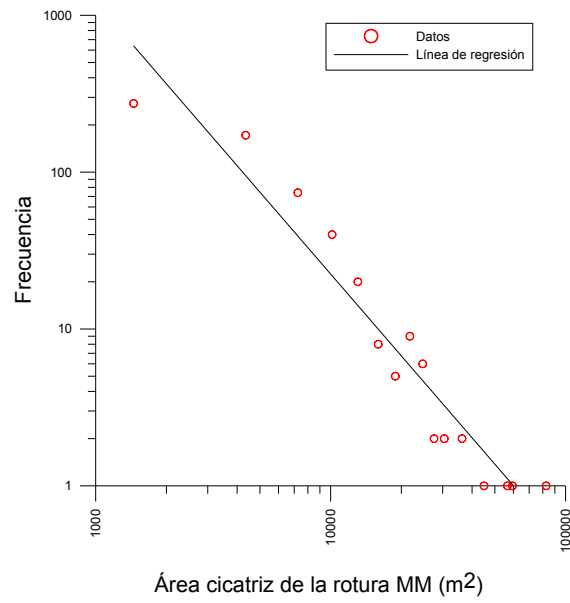


Figura 4.20 Gráfico del método log transform para los datos de los movimientos en masa.

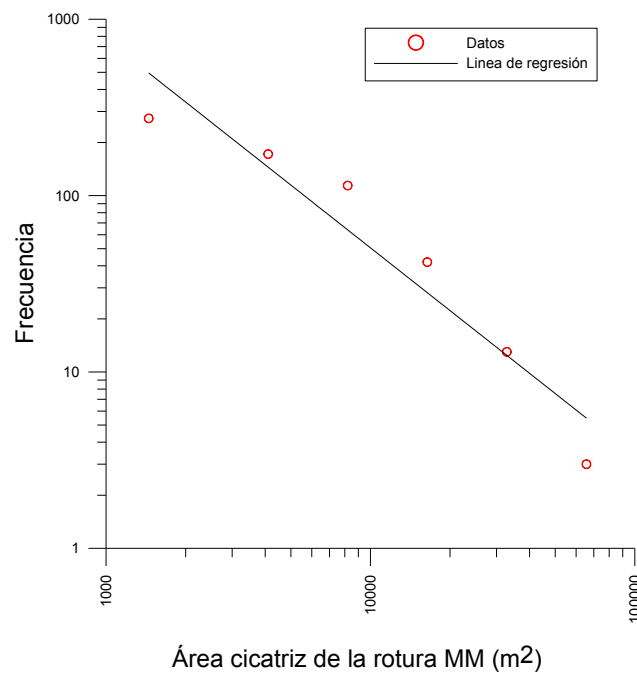


Figura 4.21 Gráfico del método logarithmic binning para los datos de los movimientos en masa.

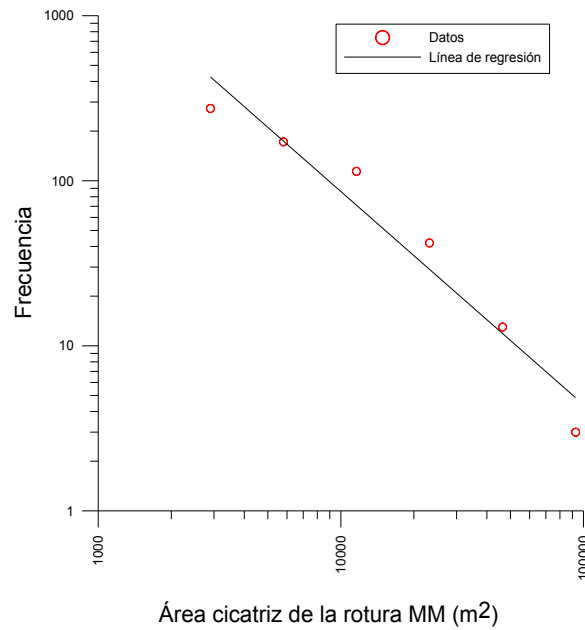


Figura 4.22 Gráfico del método logarithmic binning with normalization para los datos de los movimientos en masa.

Los rasgos principales que surgen de la aplicación de estos tres métodos se resumen en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Resumen de los resultados obtenidos con la aplicación de los métodos log transform, logarithmic binning y logarithmic binning with normalization a los datos del inventario de roturas.

Método	Expresión	R ²
LT	$\ln(\text{frecuencia}) = -1.73 * \ln(\text{área}) + 19.08$	0.93
LB	$\ln(\text{frecuencia}) = -1.18 * \ln(\text{área}) + 14.81$	0.91
LBN	$\ln(\text{frecuencia}) = -1.29 * \ln(\text{área}) + 16.34$	0.94

Se puede apreciar que el método que mejor se ajusta a los datos es el LBN, esto a partir del valor del coeficiente de determinación R².

Al aplicar el método RF se observan ajustes variables para cada uno de los modelos evaluados. Un resumen de los aspectos relevantes de cada línea de ajuste se muestra en la Figura 4.23 y en la Tabla 4.2.

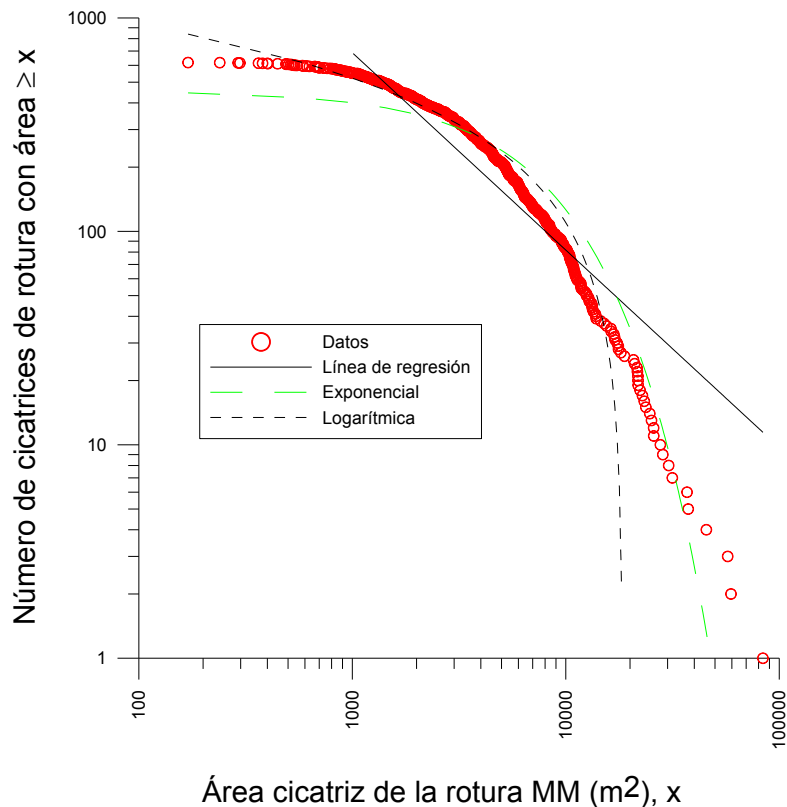


Figura 4.23 Gráfico del método rank/frequency para los datos de los movimientos en masa.

Tabla 4.2 Modelos de ajuste del método Rank/frequency

Modelo	Expresión	R ²
Lineal	$\ln(\text{frecuencia}) = -0.92 * \ln(\text{área}) + 12.92$	0.84
Exponencial	$\text{frecuencia} = \exp(-0.000128 * \text{área}) * 455.63$	0.86
Logarítmico	$\ln(\text{frecuencia}) = -179.25 * \ln(\text{área}) + 1760.94$	0.96

Como es evidente, en éste método (RF), la línea de regresión (igual a la que se aplicó para los demás métodos) no se ajusta bien a la distribución de los datos, a pesar de que lo pareciera en el caso del método LBN (Figura 4.22). Si el ajuste se evalúa por inspección visual, el modelo exponencial sería el preferido. Sin embargo de acuerdo al valor de R², el mejor ajuste lo presenta el modelo logarítmico.

La versión modificada del gráfico RF (Figura 4.24) muestra que la distribución de los datos tiene un comportamiento lineal para valores en el rango 10.000 m^2 – 85.000 m^2 y para valores menores a 1000 m^2 , siendo curvilínea en el rango entre 1.000 m^2 y 10.000 m^2 . El comportamiento lineal para valores en el rango $0 - 1.000 \text{ m}^2$, corresponde al “roll-over exponencial” descrito por Malamud et al (2004a); y, para valores mayores a 1.000 m^2 , el decaimiento típico de una distribución de ley de potencia descrito por los mismos autores.

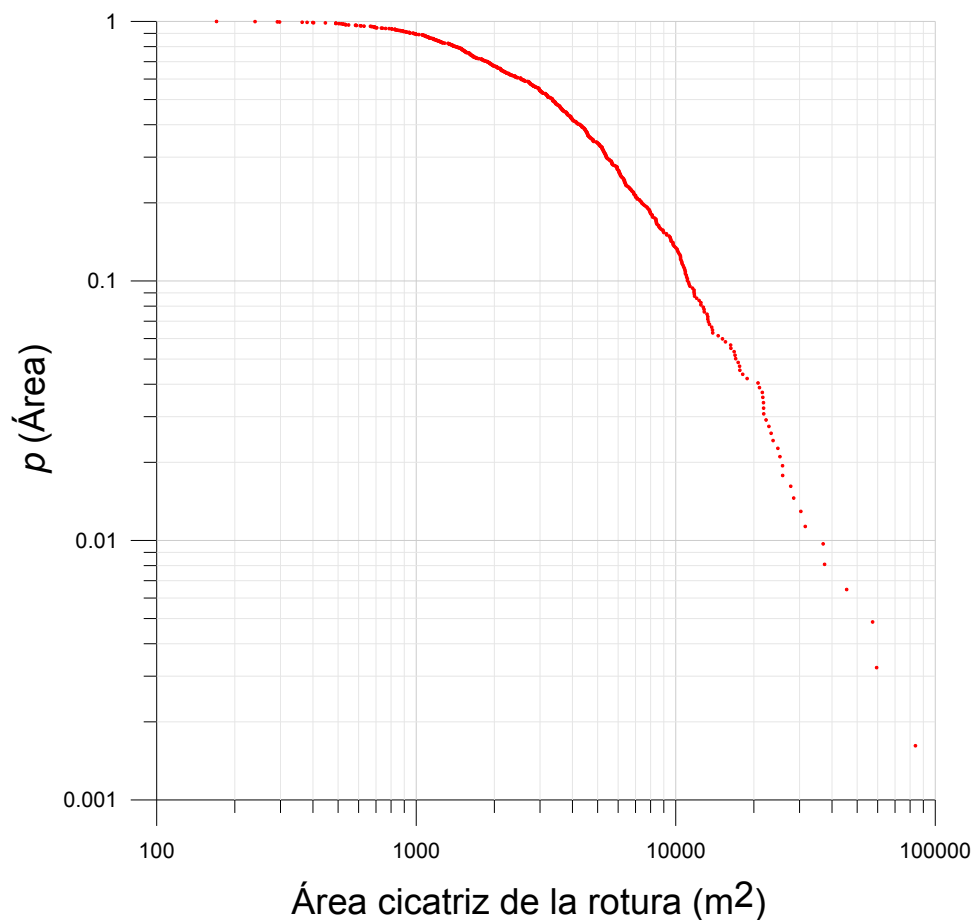


Figura 4.24 Gráfico rank/frequency modificado para los datos de los movimientos en masa.

Dado que los datos se pueden representar mediante una función potencial, se determinó el valor mínimo a partir del cual la distribución se ajusta a dicha función. Al asumir un criterio de corte teniendo en cuenta el rango lineal, el valor es 10.000 m^2 (Figura 4.25) sin embargo, este valor decrece a 1.000 m^2

(Figura 4.26) siguiendo el criterio de corte coincidente con el “roll-over”. La Tabla 4.3 resume los resultados de la aplicación de estas dos opciones. Como se puede apreciar el valor de R^2 se incrementa a 0.99 cuando el corte es 10.000 m^2 ; esta decisión, sin embargo, descarta del análisis el 87% de los datos del inventario, pero si se acepta un corte de 1.000 m^2 se deja el 11% de los datos por fuera del análisis.

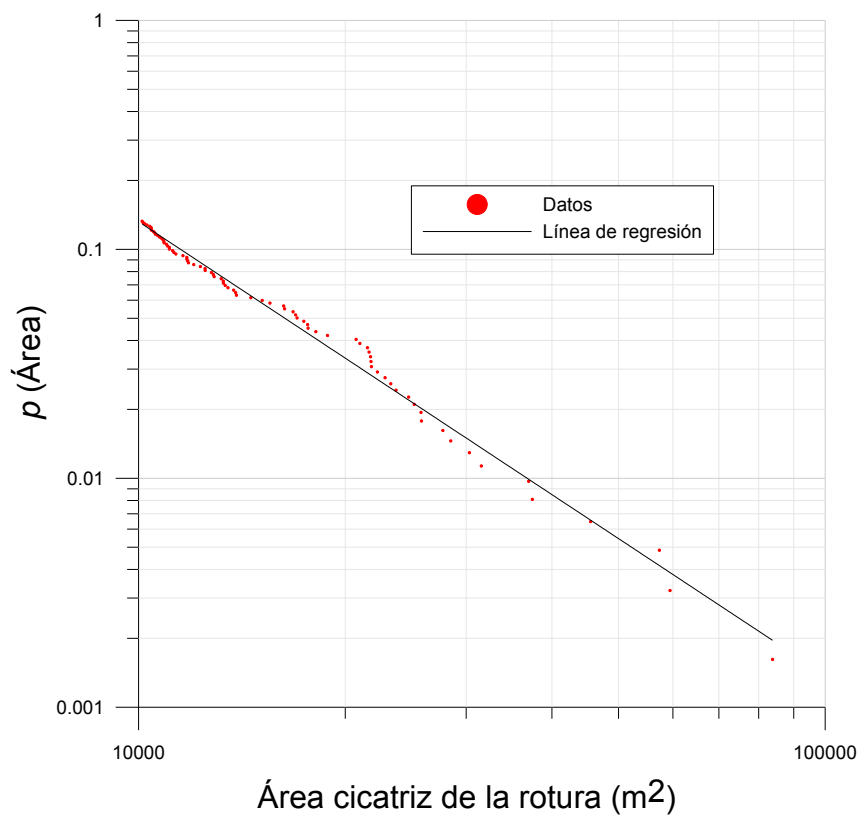


Figura 4.25 Gráfico RF para los datos de los movimientos en masa con valor de área de rotura $\geq 10.000 \text{ m}^2$

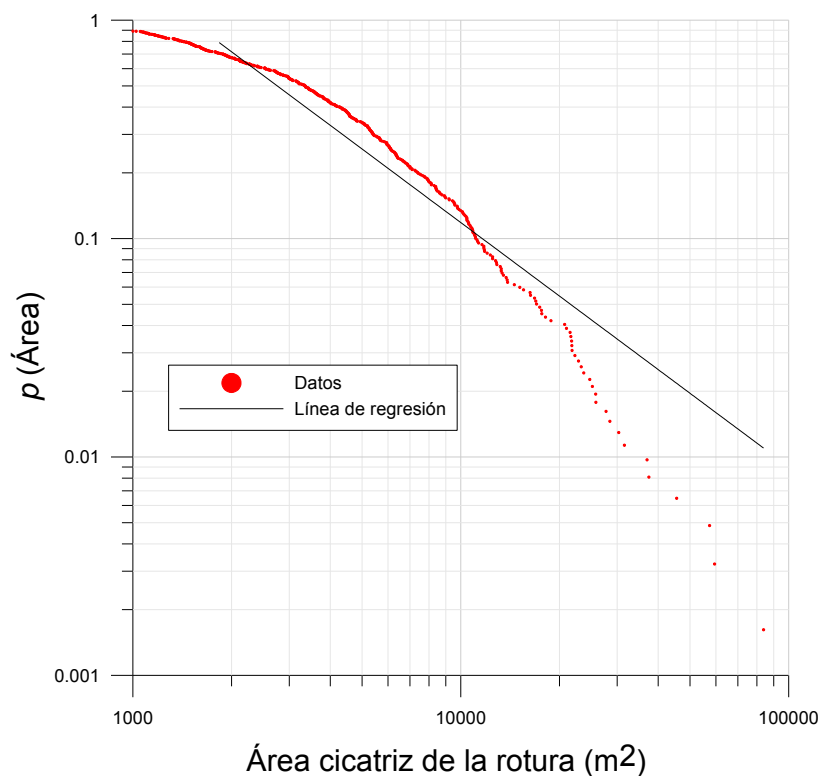


Figura 4.26 Gráfico RF para los datos de los movimientos en masa con valor de área de rotura $\geq 1.000 \text{ m}^2$

Tabla 4.3 Resumen de los resultados obtenidos con la aplicación de los métodos LT, LB y LBN a los datos del inventario de roturas.

Valor Corte (m^2)	Expresión	R^2
10.000	$\ln(\text{frecuencia}) = -1.98 * \ln(\text{área}) + 16.21$	0.99
1.000	$\ln(\text{frecuencia}) = -1.11 * \ln(\text{área}) + 8.16$	0.91

La aplicación del método EMV implicó el cálculo de 65 distribuciones de probabilidad (Anexo 3) de las cuales la que mejor bondad de ajuste presenta es la Wakeby (Anexo 4), con parámetros: $\alpha = 1370.9$, $\beta = 2.6279$, $\gamma = 3061.6$, $\delta = 0.32609$ y $\xi = 446.0$, que ocupa el primer lugar del ranking cumpliendo los criterios de aceptación de la prueba Kolmogorov-Smirnov con un valor de $p = 0.95$ (Figura 4.27). La expresión de la distribución Wakeby es:

$$x(F) = \xi + \frac{\alpha}{\beta} \left(1 - (1 - F)^\beta \right) - \frac{\gamma}{\delta} \left(1 - (1 - F)^{-\delta} \right)$$

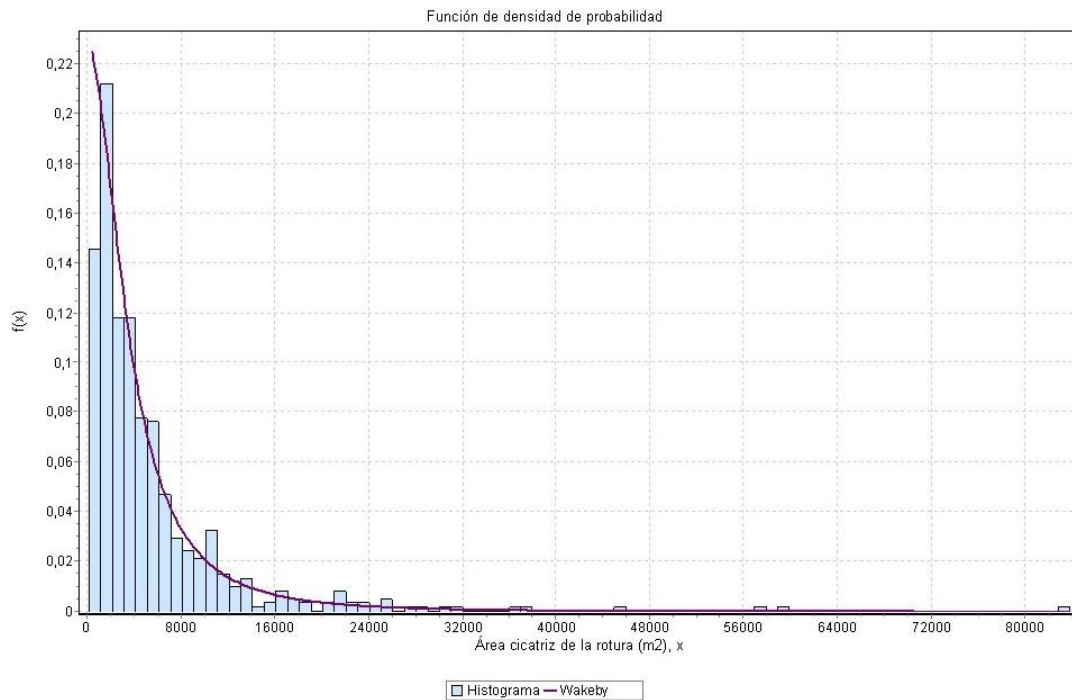


Figura 4.27 Histograma y PDF de la distribución Wakeby para los datos de movimientos en masa. Amplitud de intervalo = 1.000

4.1.4.3 Campo de densidad de roturas

La superposición del inventario de MM al mapa de cobertura del suelo resultó en el mapa de la Figura 4.28, sobre el cual se calcularon las densidades de MM según el tipo de cobertura.

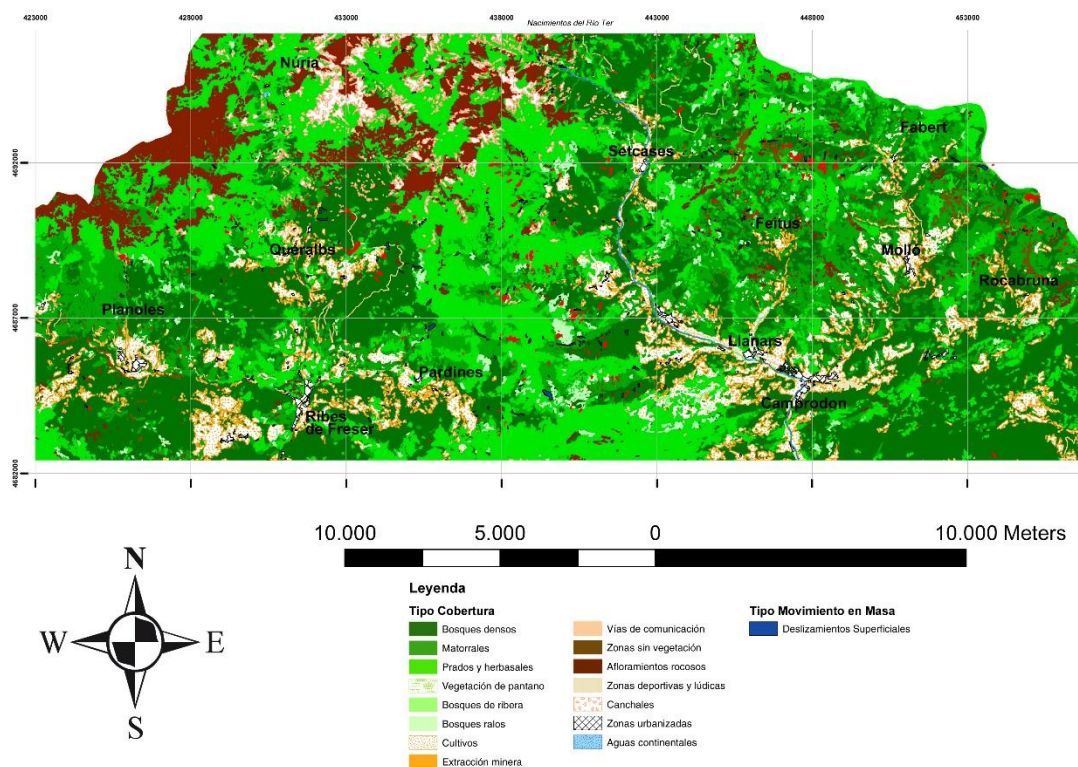


Figura 4.28 Mapa de cobertura del suelo e inventario de movimientos en masa.

Posteriormente se realizó un análisis para obtener: el área de cada tipo de cobertura del suelo, el número de MM presentes en cada tipo de cobertura, así como el área de la totalidad de las cicatrices de rotura que están contenidas en cada tipo de cobertura (Tabla 4.4).

Tabla 4.4 Datos de densidad de movimientos en masa por tipo de cobertura del suelo

FID	Código	Tipo Cobertura	Área cobertura (m ²)	No. MM	Área cicatriz MM (m ²)
0	b	Bosques densos	163947660,3	212	754186,3
1	c	Cultivos	39191966,5	0	0,0
2	d	Zonas mineras	27094,5	0	0,0
3	g	Vegetación de pantano	20047,7	0	0,0
4	h	Bosques de ribera	327708,6	0	0,0
5	k	Vías de comunicación	1636108,1	1	1765,2
6	m	Matorrales	63768467,9	141	664569,3
7	n	Zonas erosionadas	2899766,5	39	255829,1
8	p	Prados y herbazales	101765521,9	109	454712,1
9	r	Roquedos	23670491,6	30	158879,9
10	s	Zonas deportivas-lúdicas	197226,1	0	0,0
11	t	Canchales	7560494,1	72	375581,6
12	u	Zonas urbanizadas	1976574,6	0	0,0
13	v	Bosques claros	4421948,6	14	96477,6
14	w	Aguas continentales	414538,2	0	0,0

Se observó la ocurrencia de MM en zonas sin formación superficial: vías de comunicación (1 MM), zonas erosionadas (39 MM) y roquedos (30 MM). Sin embargo, es posible que para la época de la ocurrencia del evento, no existieran las vías de comunicación; que las zonas reportadas como de erosión correspondan muy probablemente a movimientos en masa ocurridos en 1940 y que posteriormente continuaran desprovistos de vegetación y por lo tanto aparezcan reportadas como zonas erosionadas o como roquedos en la información del CREA (1993).

En la Foto 4.6 se pueden apreciar roquedos (1) en las laderas de los picos de Bacivers y la Dona (NW de Setcases, nacimientos del río Ter, Figura 4.11), que no se han revegetado y en los que ha continuado el proceso de erosión, que transporta el material suelto a medida que se va generando por los diferentes procesos geomórficos, dando como resultado la no disponibilidad de material para la generación de MM. También se observan cicatrices recientes (2, colores crema claro), a partir de la movilización de material de formaciones superficiales que en su momento soportaba vegetación; de igual forma se observan cicatrices de MM antiguos, posiblemente de 1940 (2', colores oscuros) y depósitos de canchales (3).



**Foto 4.6 Movimientos en masa en los Pics de Bacivers (izquierda) y la Dona (derecha).
Números explicados en el texto (Foto: J.Corominas)**

En la Foto 4.7 (Gra de Fajol, N de la Serra del Catllar - Figura 4.11) se observa claramente roquedos (1) que zona de afloramientos rocosos sin cobertura de formación superficial o vegetación), los depósitos de canchales (3) en las partes bajas de las laderas rocosas, que por ser materiales sueltos son susceptibles de ser movilizados y el glaciar rocoso (4). En las zonas de roquedos, independientemente de la inclinación topográfica no es factible la ocurrencia de movimientos en masa tipo deslizamientos superficiales y/o corrientes de derrubios, debido a la ausencia de formación superficial. De igual forma en esta foto es claro que donde no hay vegetación es por la ausencia de formación superficial, que es la que soporta su crecimiento.



Foto 4.7 Roquedo y canchales en el Gra de Fajol (izquierda). Número explicados en el texto (Foto: J. Corominas)

Teniendo como base los anteriores criterios, se llevó a cabo la reasignación de polígonos resultando en los datos corregidos de la Tabla 4.5. La reasignación consistió en unir el polígono de la cicatriz al polígono de la cobertura del suelo más cercana que indicara la presencia de formación superficial.

Tabla 4.5 Datos corregidos de movimientos en masa por tipo de cobertura

FID	Código	Tipo Cobertura	Área cobertura (m ²)	No. MM	Área cicatriz MM (m ²)	Densidad MM/Km ² cobertura
0	b	Bosques densos	163999201,1	230	834303,4	1,4
1	c	Cultivos	39191966,5	0	0,0	0,0
2	d	Zonas mineras	27094,5	0	0,0	0,0
3	g	Vegetación de pantano	20047,7	0	0,0	0,0
4	h	Bosques de ribera	327708,6	0	0,0	0,0
5	k	Vías de comunicación	1635587,4	0	0,0	0,0
6	m	Matorrales	63949931,2	170	817817,5	2,7
7	n	Zonas erosionadas	2681038,6	0	0,0	0,0
8	p	Prados y herbazales	101892778,4	131	634044,7	1,3
9	r	Roquedos	23528644,2	0	0,0	0,0
10	s	Zonas deportivas-lúdicas	197226,1	0	0,0	0,0
11	t	Canchales	7560494,1	72	375581,6	9,5
12	u	Zonas urbanizadas	1976574,6	0	0,0	0,0
13	v	Bosques claros	4422784,1	15	100253,8	3,4
14	w	Aguas continentales	414538,2	0	0,0	0,0

Luego se llevó a cabo la normalización de la frecuencia de MM por el tamaño del respectivo tipo de cobertura, obteniéndose una mayor densidad en la cobertura tipo canchales ($9,5 \text{ MM/km}^2$) seguido de bosques claros ($3,4 \text{ MM/km}^2$).

La zonificación del área de estudio, de acuerdo a la presencia o no de formación superficial, resultó en el mapa de la Figura 4.29, en el cual se resalta que en el sector NW del área de estudio (N de Planoles-Queralbs-Setcases y nacimientos del Ter) se concentran las áreas desprovistas de formación superficial, correspondiendo a los roquedos como el del Gra de Fajol (Foto 4.7).

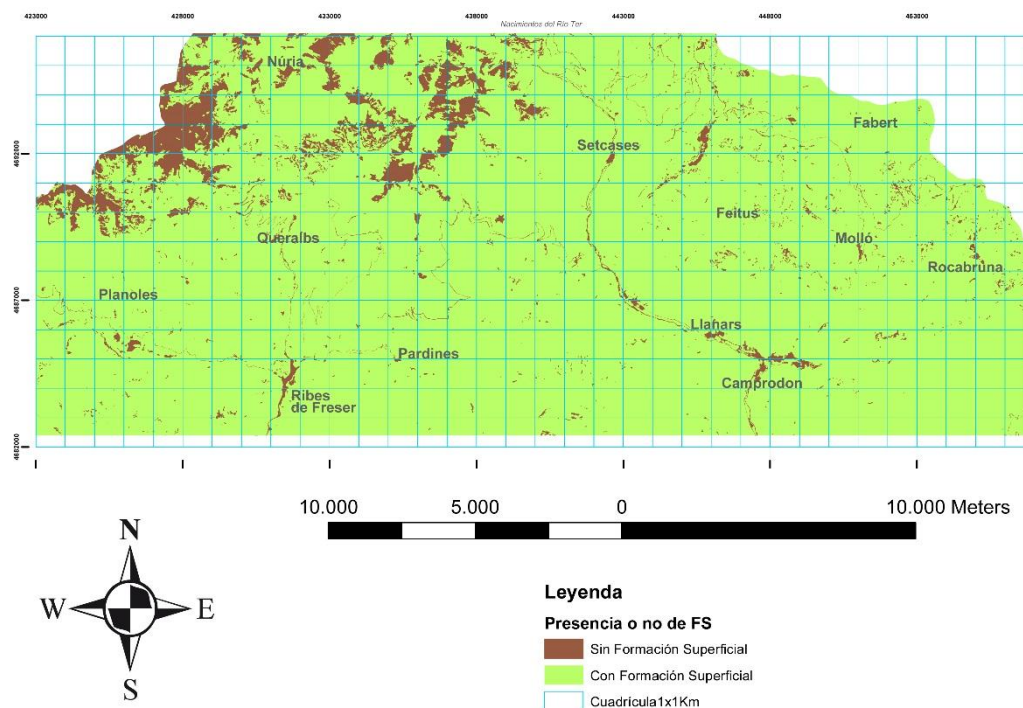


Figura 4.29 Zonificación del área de acuerdo a la presencia o no de formación superficial

El análisis de pendientes con un valor crítico de $14,5^\circ$, resultó en la clasificación del terreno que se muestra en la Figura 4.30. En esta se puede observar que los valores menores de pendiente topográfica delinean básicamente los valles fluviales.

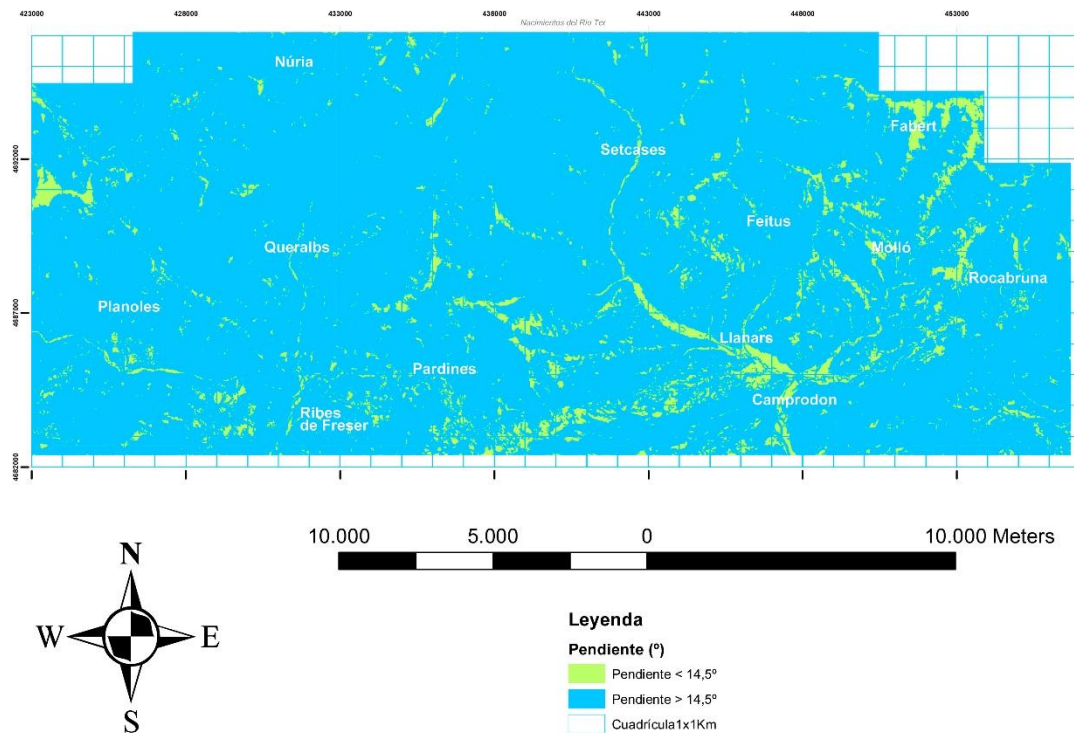


Figura 4.30 Zonificación del área de acuerdo a la pendiente mayor o menor al valor crítico de 14.5°

La ocurrencia de MM como los tratados en esta investigación dependen fundamentalmente de la presencia de formación superficial; sin embargo, también es necesario que se cumpla que la pendiente del terreno sea la adecuada. Así por ejemplo, como se observa en la Foto 4.8, si existiendo formación superficial, la pendiente topográfica es baja (1) no se presentarán MM; mientras en aquellos lugares donde existiendo formación superficial y pendientes topográficas altas (2), si serán susceptibles a la generación de MM.

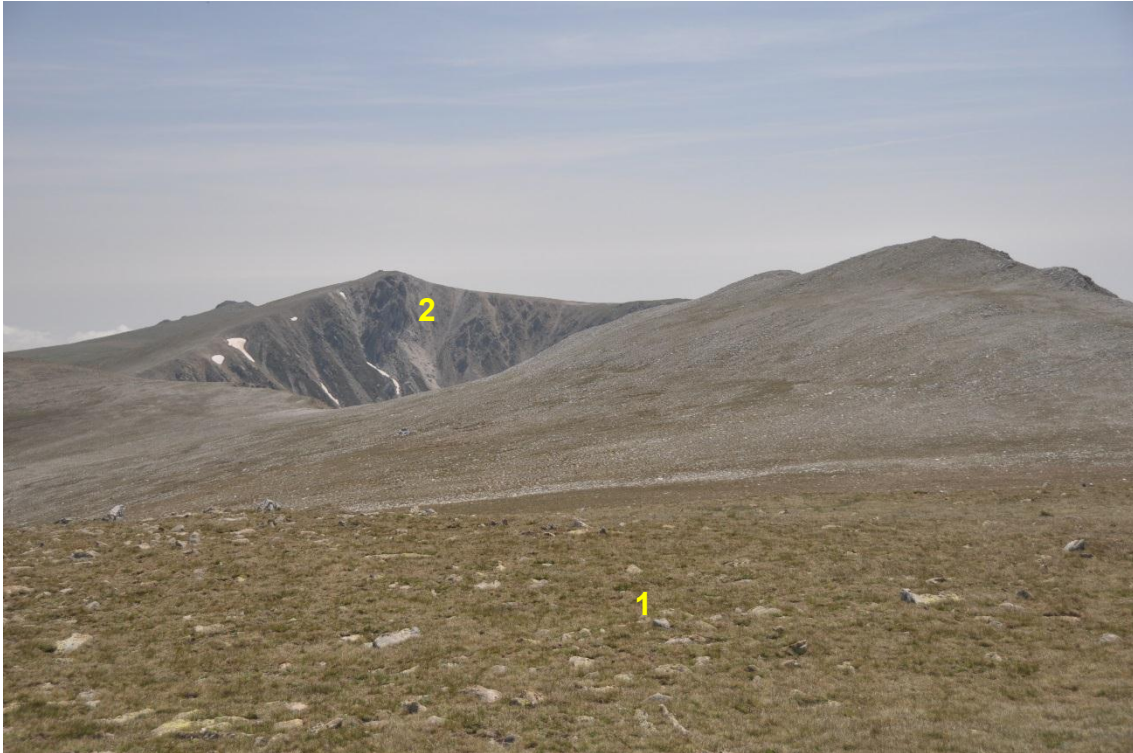


Foto 4.8 Formación superficial en zonas con pendiente topográfica baja (1) y alta (2), Pic de la Llosa - Roca Colom (N de Setcases). Números explicados en le texto (Foto: J. Corominas)

Con base en los anteriores razonamientos, los mapas de las Figura 4.29 y Figura 4.30 se superpusieron para construir el mapa de la Figura 4.31, que es una zonificación en áreas con o sin formación superficial y con una pendiente menor a 14.5° y áreas con formación superficial y pendientes mayores a 14.5° , siendo estas últimas las susceptibles a presentar movimientos en masa.

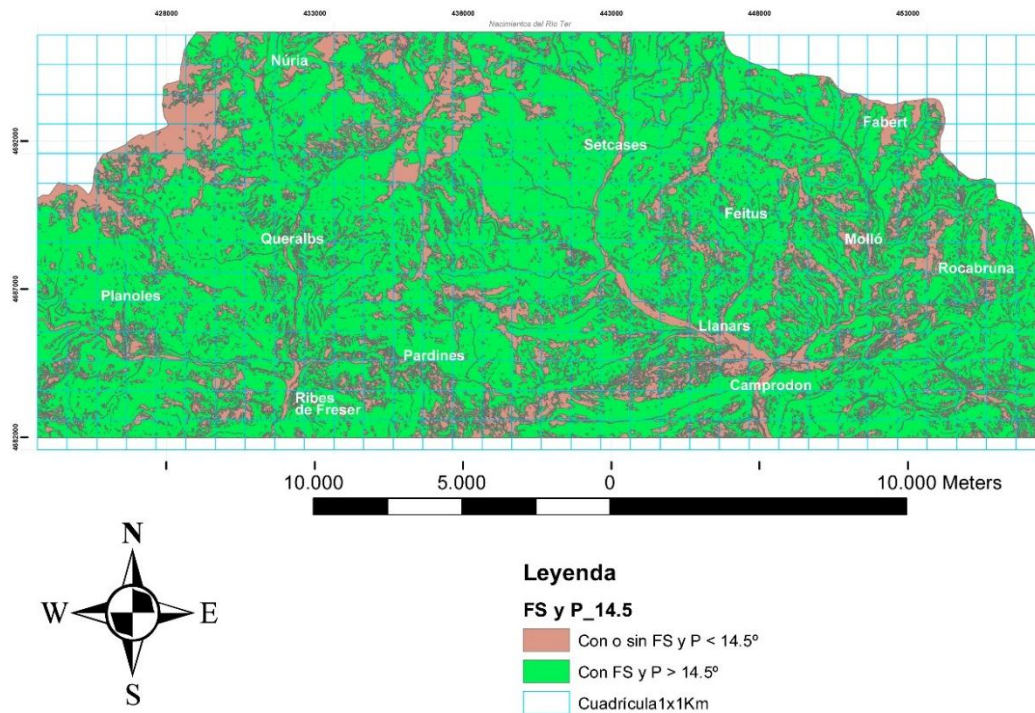
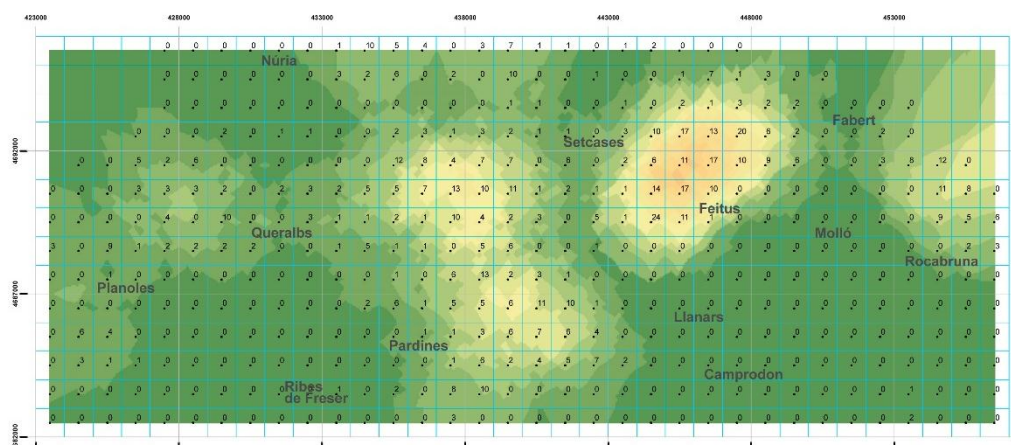


Figura 4.31 Zonificación en áreas con presencia o no de formación superficial y de acuerdo al valor crítico de pendiente

Posteriormente, se realizó la unión con el mapa de los centroides de las cicatrices de MM para obtener el número de MM por km^2 de formación superficial y pendiente $> 14,5^\circ$ en cada nodo de la cuadrícula. La aplicación del kriging refinó el procedimiento para obtener dos representaciones del campo de densidad de MM que se presentan en la Figura 4.32 y Figura 4.33.



El dato en el centro de cada cuadrícula, corresponde al número de movimientos en masa por km^2 .

Figura 4.32 Campo de densidad de número de movimientos en masa por km^2 del área Molló-Queralt.

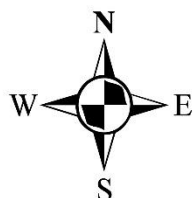
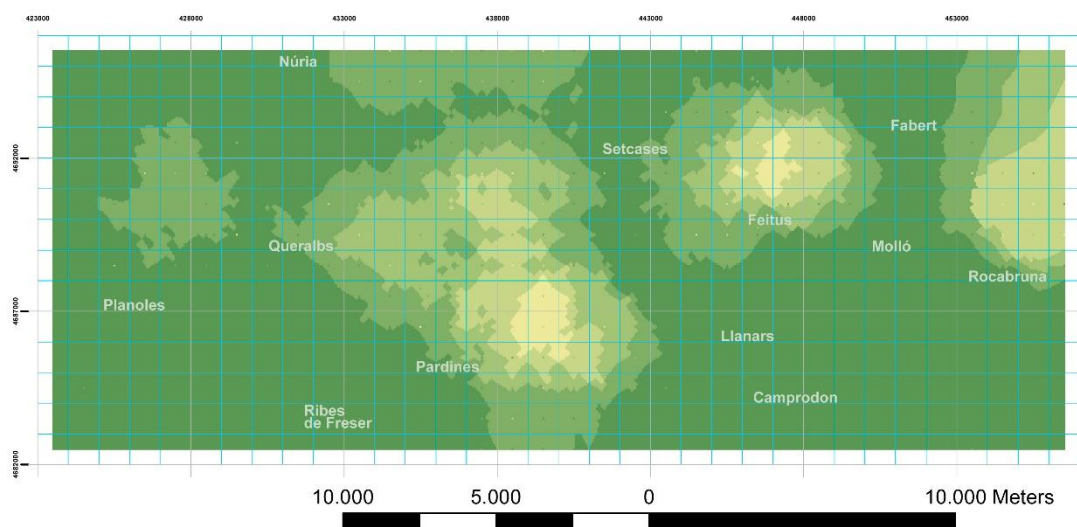


Figura 4.33 Campo de densidad de movimientos en masa del área Molló-Queralt (área de rotura/ km^2)

La inspección visual de los dos anteriores mapas indica que los MM se concentran en las áreas al N de Feitús y al E de Pardines. En estas dos áreas, según el mapa geológico (Figura 4.6), las formaciones superficiales que rompen están representadas principalmente por depósitos coluviales que recubren rocas lutíticas de la Formación Jujols.

El análisis estadístico, utilizando el método del EMV, aplicado a la base de datos de número de roturas por km^2 (Anexo 5), indica dos posibles distribuciones que explican bien los datos (Anexo 6): Generalized Gamma (4P) y Wakeby, siendo la primera la preferida (Figura 4.34) dado que ocupa el primer lugar en el ranking de bondad del ajuste (Anexo 7) por cumplir los criterios de la prueba Kolmogorov-Smirnov con un mayor valor $p = 0.46$.

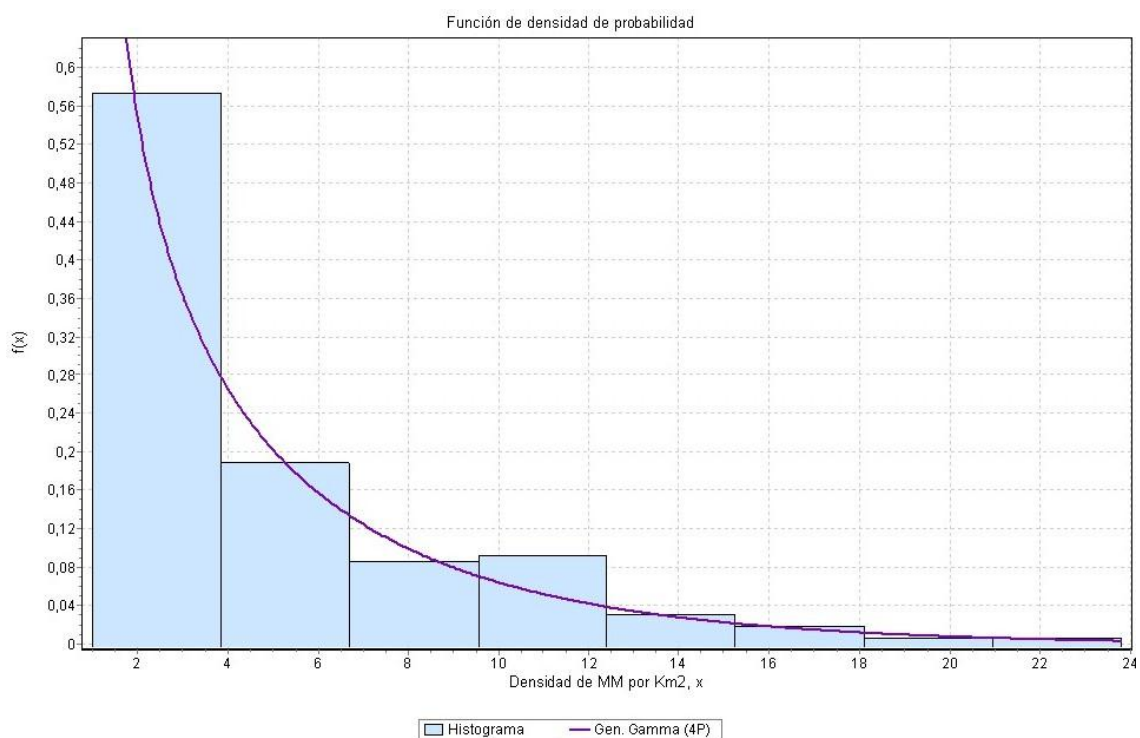


Figura 4.34 Histograma y PDF Generalized Gamma (4P) para el campo de densidad de movimientos en masa por km^2 del área Molló-Queralbs

4.1.4.4 Campo de lluvias de octubre de 1940

La compilación de los datos diarios totales de precipitación (16-20 de octubre), registrados en las estaciones meteorológicas, se presentan en la Tabla 4.6 y los hietogramas correspondientes se muestran en la Figura 4.35.

Tabla 4.6 Datos de lluvias del 16 al 20 de octubre de 1940 del área Molló-Queralbs y alrededores (AEMET, 2010; T.S.V.P., 1940; Ribes, 1982 y Lalanne, 1990)

Código Estación	Nombre Estación	Altitud (msnm)	X UTM	Y UTM	P16/10/1940 (mm)	P17/10/1940 (mm)	P18/10/1940 (mm)	P19/10/1940 (mm)	P20/10/1940 (mm)	Ptotal (mm)
0065A (AEMET)	CERCS (CT)	720	405655	4669674	10,4	108,0	45,3	24,3	0,0	188,0
311 (AEMET)	CAMPRODÓN	950	447462	4684939	123,5	352,0	326,0	65,0	3,6	870,1
316 (AEMET)	FRESER (SE)	1425	432136	4691117	14,0	240,0	140,0	56,0	3,0	453,0
320 (AEMET)	RIBES DE FRESER	940	431663	4684826	14,0	210,0	100,0	45,0	6,0	375,0
9584 (AEMET)	PUIGCERDÀ	1145	412627	4698741	12,0	24,0	46,0	17,0	1,0	100,0
Francia 1	SAINT-LAURENT-DE-CERDANS	675	466216	4692865	150,0	1000,0	400,0	300,0	80,0	1930,0
Beget (Camprodón)	Beget	531	457350	4685700						581,0
Francia 2	Prats-de-Mollo	740	457280	4694950						1500,0
Francia 3	La Coumelade (S de Canigou)	2000	456700	4703000						2000,0
Francia 4	Refuge du Canigou	2000	457450	4709250						1052,0
Francia 5	Amélie-les-Bains	300	472945	4702755						759,0
Francia 6	Perthus	282	486800	4701550						426,0

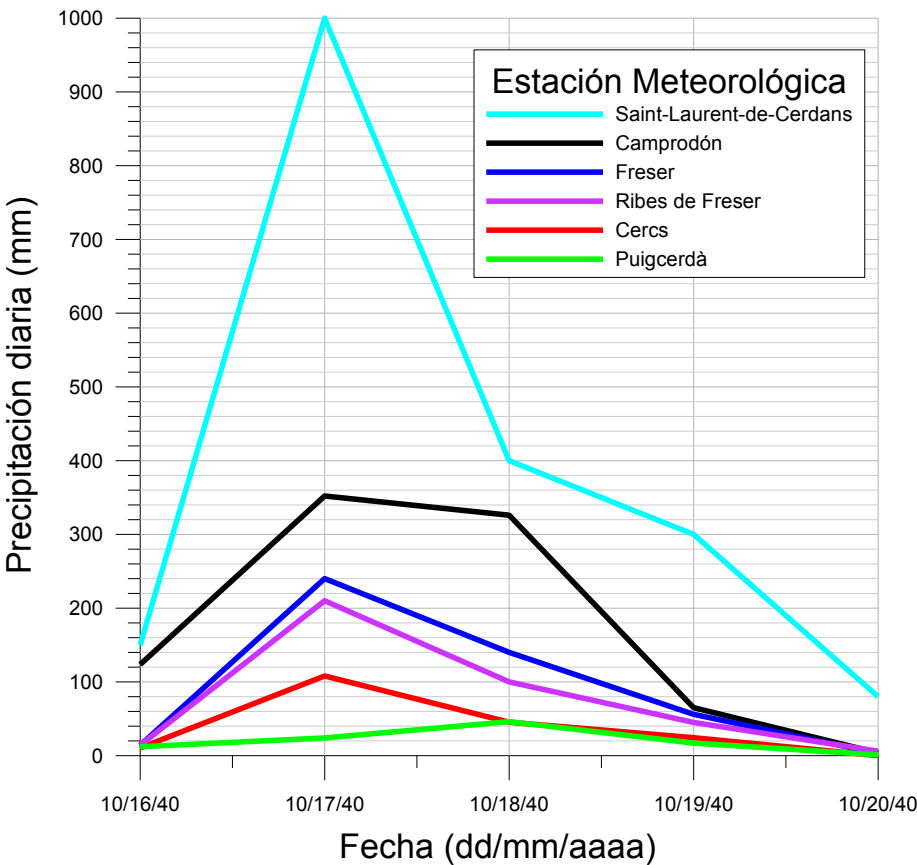


Figura 4.35 Hietógrafas de las lluvias diarias registradas.

La precipitación pico diaria se presentó el día 17 de octubre; la pluviosidad pico se registró en el sector de Saint-Laurent-de-Cerdans, con valor triple al registrado en la estación de Camprodón. El evento lluvioso inició el día 16 de octubre, con precipitaciones entre 10 mm (estaciones de Cercs y Puigcerdà, Cataluña) y 150 mm (estación de Saint-Laurent-de-Cerdans, Francia; Figura 4.36).

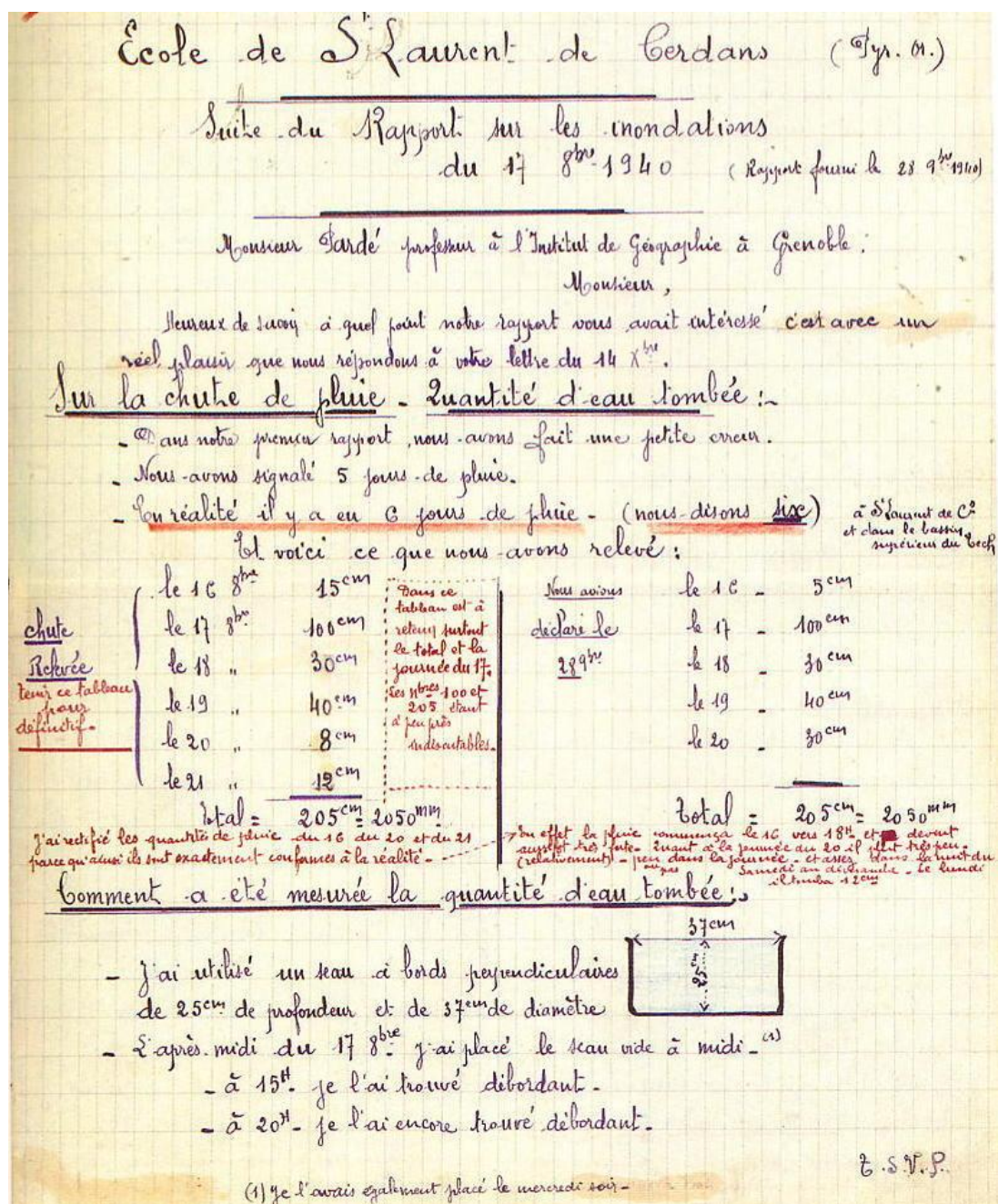


Figura 4.36 Registro de las lluvias del 17 de octubre de 1940, en la escuela de Saint-Laurent-de-Cerdans (T.S.V.P., 1940)

Se efectuó el Kriging de la precipitación total, con base a los datos de localización de las estaciones meteorológicas y sitios geográficos mencionados en la Tabla 4.6. Los resultados del proceso realizado en ArcGIS®, se presentan en la Figura 4.37.

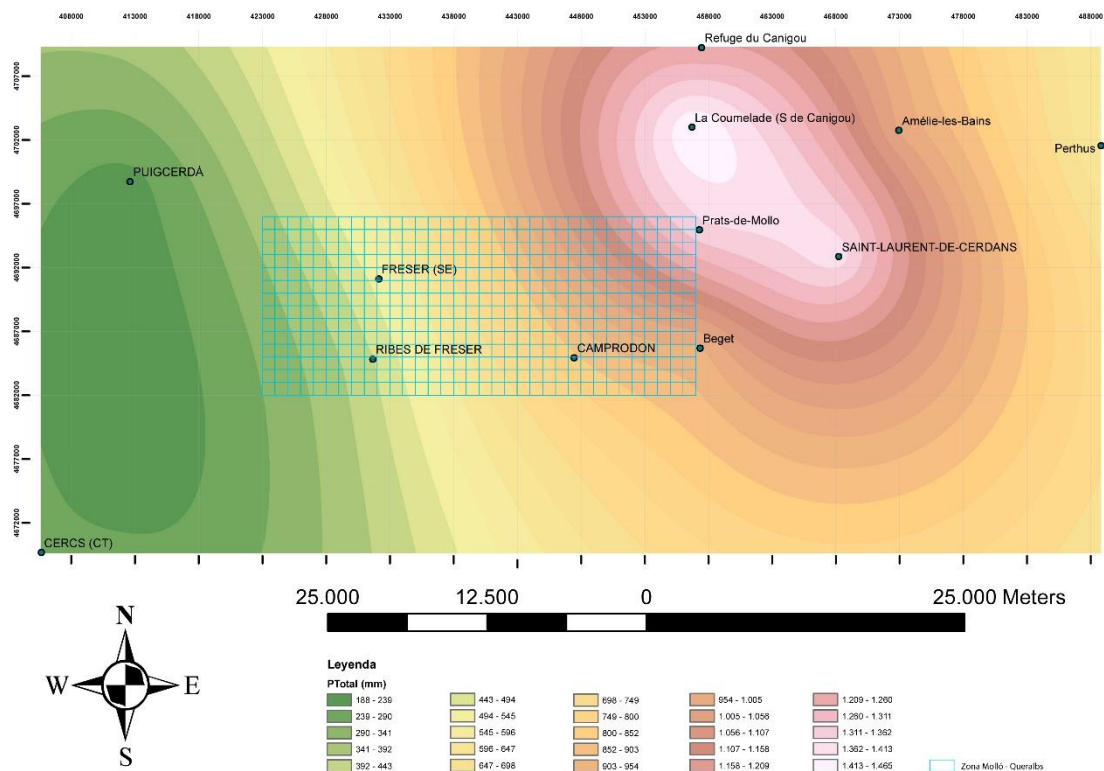


Figura 4.37 Campo de la precipitación total entre el 16 y el 20 de Octubre de 1940.

Se observa que el elipsoide de máxima precipitación se presenta en el sector francés de La Coumelade. Estos resultados, obtenidos a partir de la interpolación de los valores de lluvia registrados en las estaciones meteorológicas del área afectada por la tormenta, muestran que la lluvia total presenta una distribución espacial decreciente desde el centro de la tormenta, que para el caso de la zona de estudio particular de la Tesis (Molló-Queralbs: retícula azul en la Figura 4.37) es uniformemente decreciente desde el NE

(Prats de Molló) al SW (Ribes de Freser). Sin embargo, estos resultados no reflejan lo que se observa en la realidad cuando se presenta una tormenta que afecta grandes extensiones: hay sectores con mayor intensidad de precipitación debido a las interacciones entre los vientos y el relieve montañoso local. Por esta razón, con el fin de reconstruir el campo de precipitación de las lluvias registradas en octubre de 1940, se procedió a realizar el procedimiento que se describe en los siguientes apartados.

Se realizó el perfil topográfico y de precipitación total registrada en las estaciones meteorológicas del trayecto Elna-Prats de Molló-Cercs, cuyos datos se presentan en la Tabla 4.7 y con los resultados de la Figura 4.38.

Tabla 4.7 Datos sitios geográficos, distancia a Perpignan (km.) y precipitación total (mm) de las lluvias de octubre de 1940 (Fr = Francia, Cat = Cataluña)

Nombre Sitio Geográfico	Altitud (msnm)	X_UTM	Y_UTM	Distancia (Km)	Ptotal (mm)
Perpignan (Fr)	30	491658	4726918	0,0	325,0
Ceret (Fr)	154	479108	4704980	25,3	336,0
Amélie-les-Bains (Fr)	300	472945	4702755	30,6	759,0
Saint-Laurent-de-Cerdans (Fr)	675	468216	4692865	41,3	1930,0
Prats-de-Mollo (Fr)	740	457280	4694950	46,9	1500,0
Coll d'Ares (Fr-Cat)	1512	455345	4690865	51,2	-
Camprodón (Cat)	950	447462	4684939	61,0	870,1
Ribes de Freser (Cat)	940	431663	4684828	73,3	375,0
Cercs (Cat)	720	405655	4669674	103,3	188,0

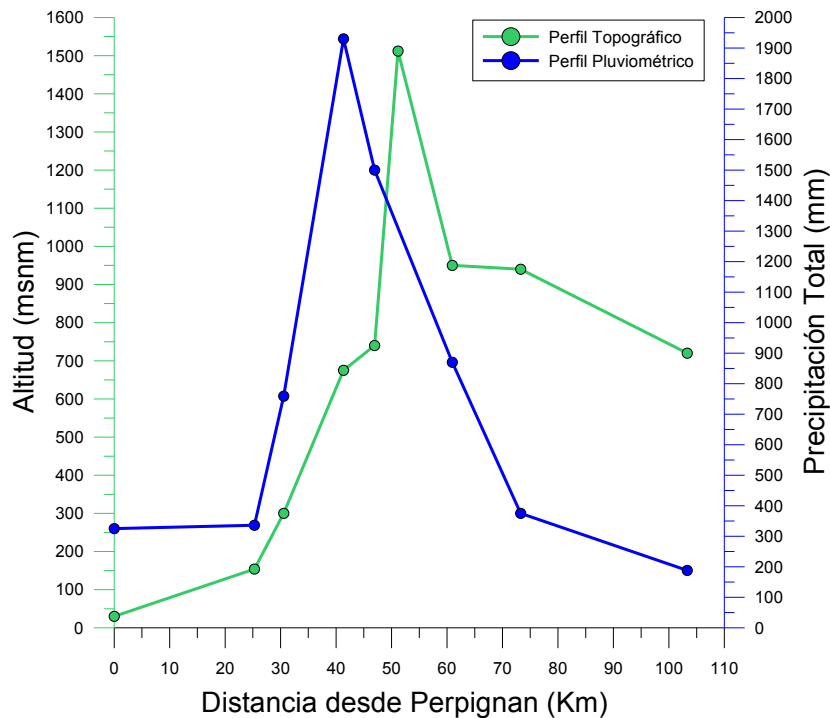


Figura 4.38 Perfiles topográfico y pluviométrico Elna-Prats de Molló-Cercs

Se verifica que en el área relativamente plana (entre Perpignan y Ceret, Francia), hay un comportamiento muy similar con un leve incremento con la altura topográfica; de igual forma los picos topográficos y pluviométrico son coincidentes; y que la disminución de la precipitación corresponde con el descenso topográfico posterior a la cima pirenaica. El análisis indica que para el lado de barlovento, el índice de incremento de la precipitación con la altura varía así: 248,8mm/100m (entre Perpignan y Saint-Laurent-de-Cerdans); 661,5mm/100m (entre Saint-Laurent-de-Cerdans y Prats de Molló); y, que en el lado de sotavento, el índice de incremento de la precipitación es 296,6mm/100m (entre Cercs y Camprodon).

Del área del campo de precipitación total (Figura 4.37), se extrajo únicamente la correspondiente a la zona donde se inventariaron MM del lado de Catalunya, la que se constituyó en el área de Molló-Queralbs, y a partir del modelo digital de elevación de esta zona (cuadrícula color azul en la Figura 4.37) y los valores

de precipitación de las estaciones de sotavento, se determinaron los valores de las variables orográficas: altitud, pendiente, curvatura y orientación que se listan en la Tabla 4.8. De acá en adelante el tratamiento de datos y el desarrollo del trabajo se refieren únicamente a esta zona.

Tabla 4.8 Datos de las variables orográficas para los sitios de las estaciones meteorológicas del área Molló-Queralbs

Código Estación	Nombre Estación	X_UTM	Y_UTM	Ptotal (mm)	Altitud (msnm)	Pendiente (°)	Curvatura	Distancia a Coumelade (Km)	Aspecto50m
0085A (AEMET)	CERCS (CT)	405655	4669674	188,0	720	21,6	-39,72	61,0	190,9
311 (AEMET)	CAMPRODON	447462	4684939	870,1	950	32,3	28,92	20,3	104,2
316 (AEMET)	FRESER (SE)	432136	4691117	453,0	1335	30,2	-3,48	27,3	183,9
320 (AEMET)	RIBES DE FRESER	431663	4684828	375,0	940	21,5	-7,56	30,9	145,5
9584 (AEMET)	PUIGCERDÀ	412627	4698741	100,0	1145	5,9	0,20	44,3	176,6
Beget (Camprodón)	Beget	457350	4685700	581,0	531	27,5	4,08	17,3	187,6

Las correlaciones entre las diferentes variables evaluadas y la precipitación total, así como la recta de regresión y el respectivo valor del coeficiente de determinación (R^2), se presentan en las Figura 4.39, Figura 4.40, Figura 4.41, Figura 4.42 y Figura 4.43.

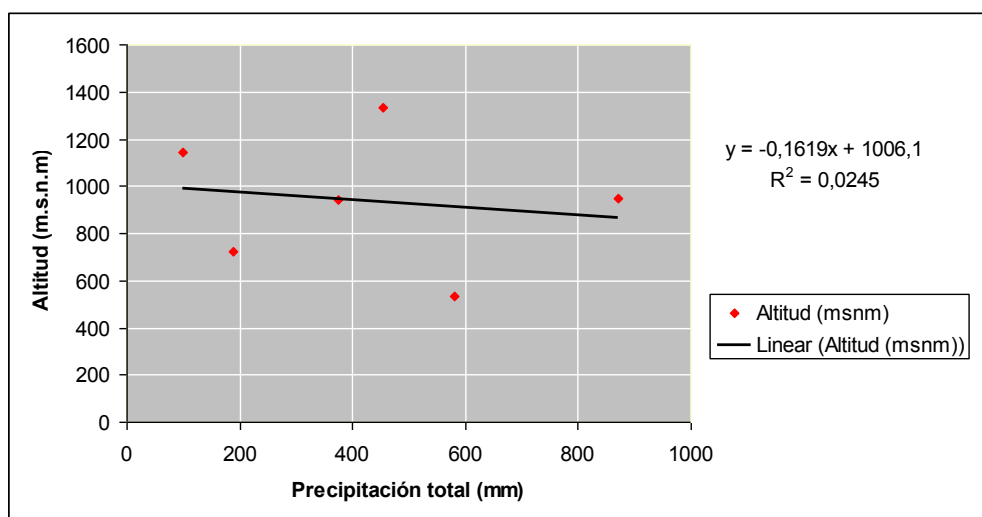


Figura 4.39 Correlación altitud topográfica – precipitación total

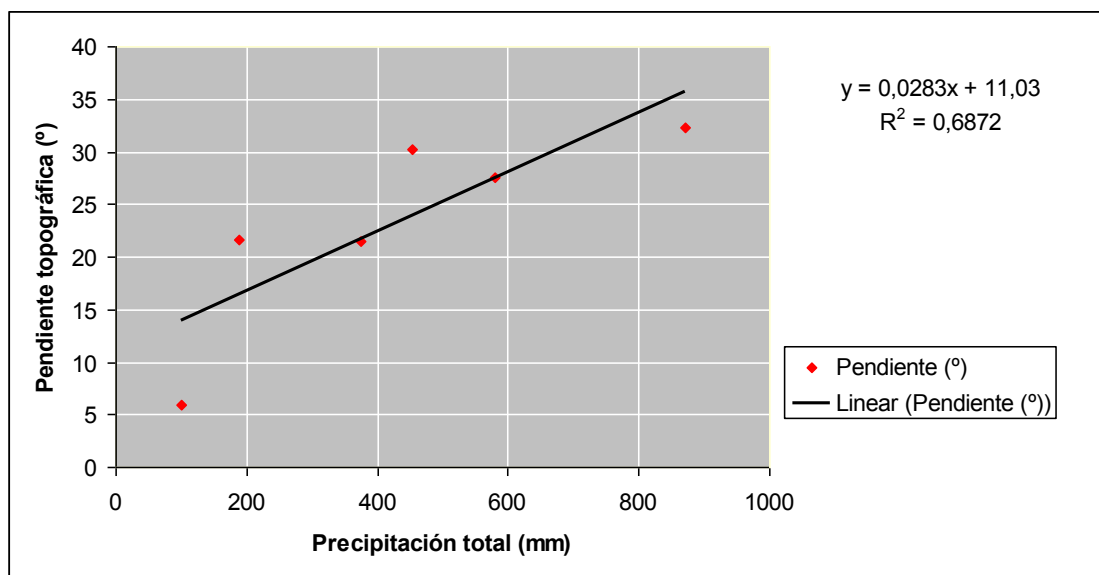


Figura 4.40 Correlación pendiente topográfica – precipitación total

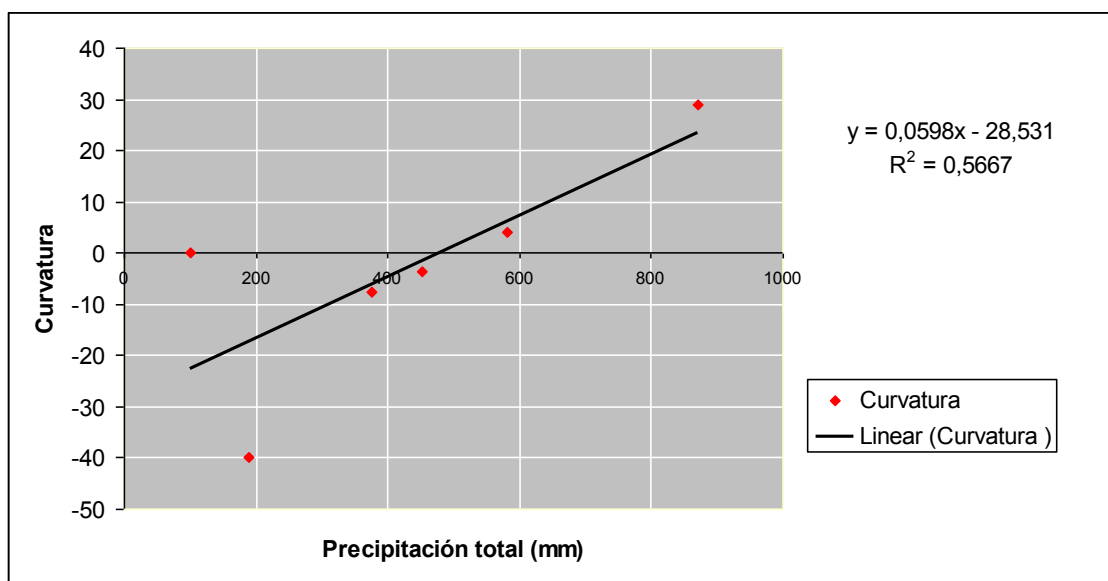


Figura 4.41 Correlación curvatura – precipitación total

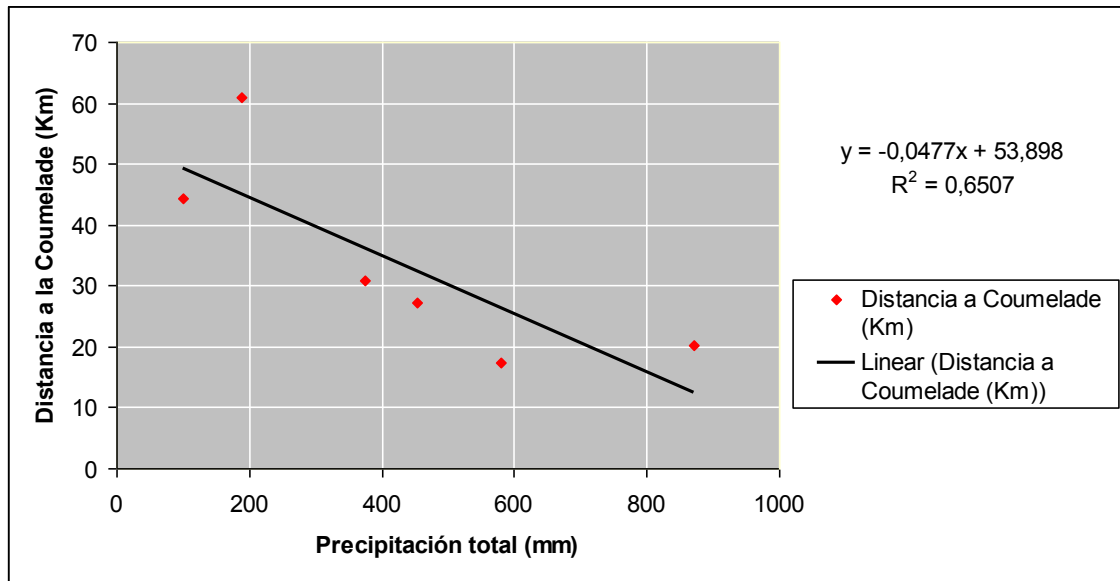


Figura 4.42 Correlación distancia a la Coumelade – precipitación total

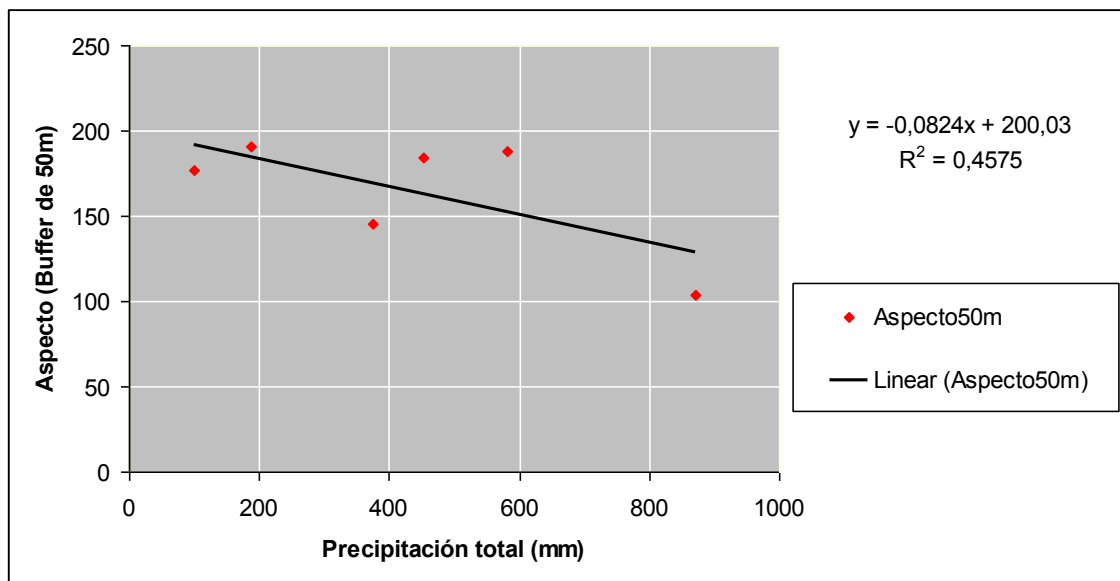


Figura 4.43 Correlación orientación – precipitación total

De acuerdo al valor de R^2 la variable que menor correlación presenta con la precipitación es la altura topográfica ($R^2 = 0,025$), por lo que la proporción de la variación de la precipitación estaría mejor explicada por la pendiente topográfica ($R^2 = 0,69$), seguida de la distancia a la Coumelade ($R^2 = 0,65$).

Mediante el uso del programa SPSS y los datos de la Tabla 4.8, se determinaron los coeficientes la Ecuación 6 para el cálculo del mapa digital de precipitación:

$$\text{Ecuación 6: } P_{\text{Total}} (\text{mm}) = 280,527 - 0,179(\text{altitud}) + 18,765(\text{pendiente}) + 7,518(\text{curvatura}) + 1,921(\text{distancia}) - 0,982(\text{orientación})$$

Mediante el modelo digital de elevación MDE correspondiente al lado de sotavento, se obtuvo el modelo digital de elevación del área Molló-Queralbs para derivar los mapas correspondientes a las variables: Altitud (Figura 4.44), Pendiente (Figura 4.45), Curvatura (Figura 4.46) y Orientación (Figura 4.47).

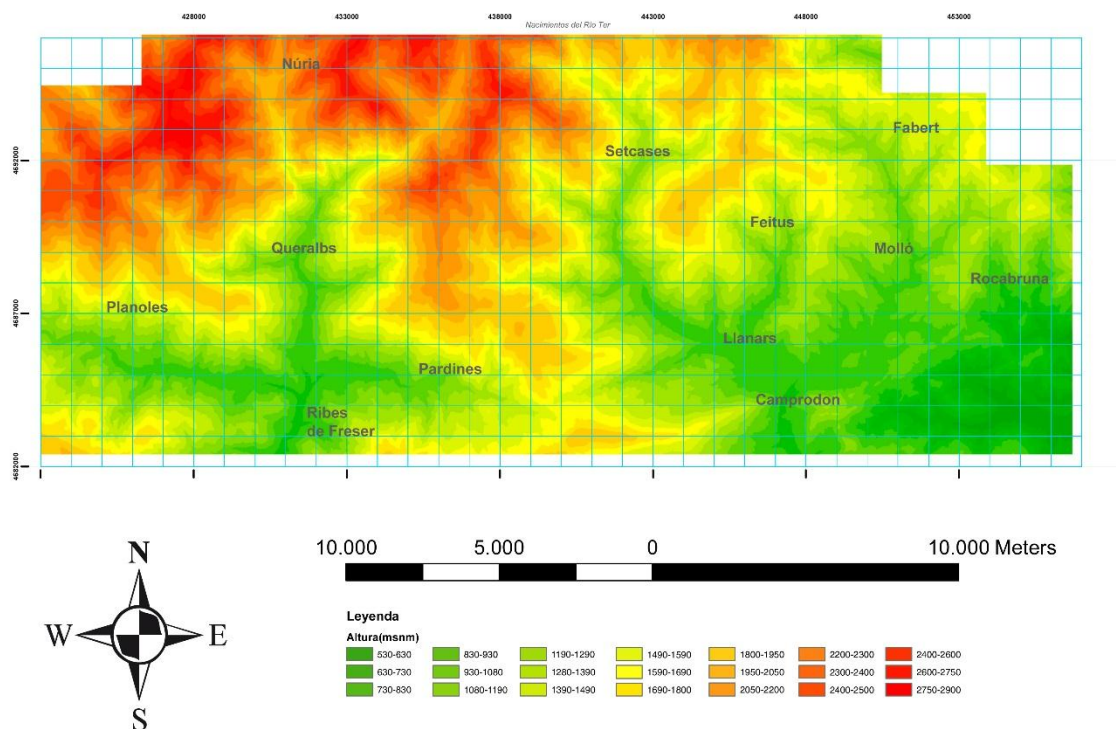


Figura 4.44 Mapa de alturas topográficas del área Molló-Queralbs

En la Figura 4.44 es claro que las alturas topográficas bajas se presentan en el sector E y a lo largo del río Freser (Queralbs-Ribes de Freser); con los máximos valores en las crestas pirenaicas del sector NW (Planoles, Queralbs y

Nuria) y a lo largo de la Serra del Catllar (N de Pardines, entre Queralbs y Setcases).

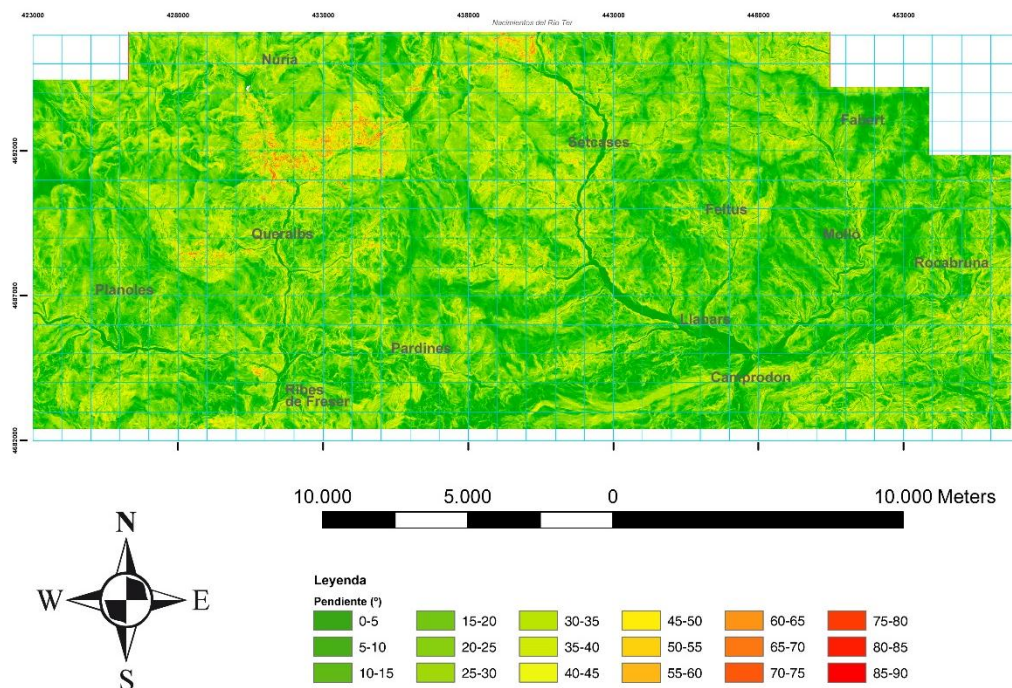


Figura 4.45 Mapa de pendientes

En dos zonas se concentran los máximos valores de pendiente: en Torreneules al sur del Pic de Noucreus (entre Queralbs y Nuria) y en los nacimientos del río Ter. Los valores más bajos, se presentan a lo largo de los cauces fluviales que se delinean muy bien en el mapa de esta variable.

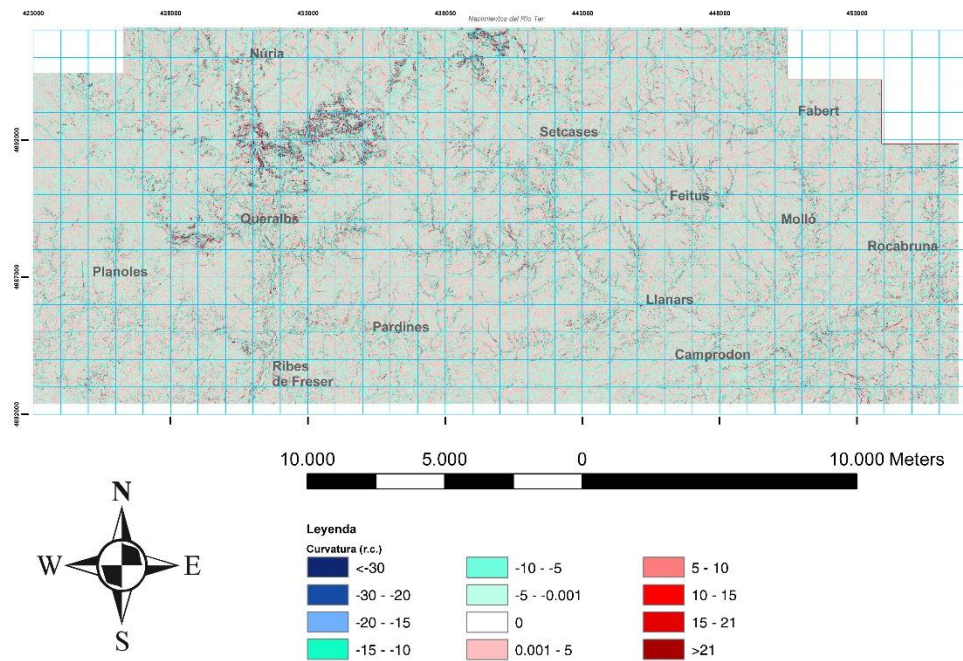


Figura 4.46 Mapa de curvatura

En los mismos sectores establecidos en el mapa de pendientes, entre Queralbs y Nuria y en los nacimientos del Ter, se presenta una concentración de altos valores negativos de curvatura (cóncava), mientras que en el resto del área se presenta una distribución lógica del valor de dicha variable: concavidad en los cursos fluviales y convexidad en las laderas e interfluvios respectivos.

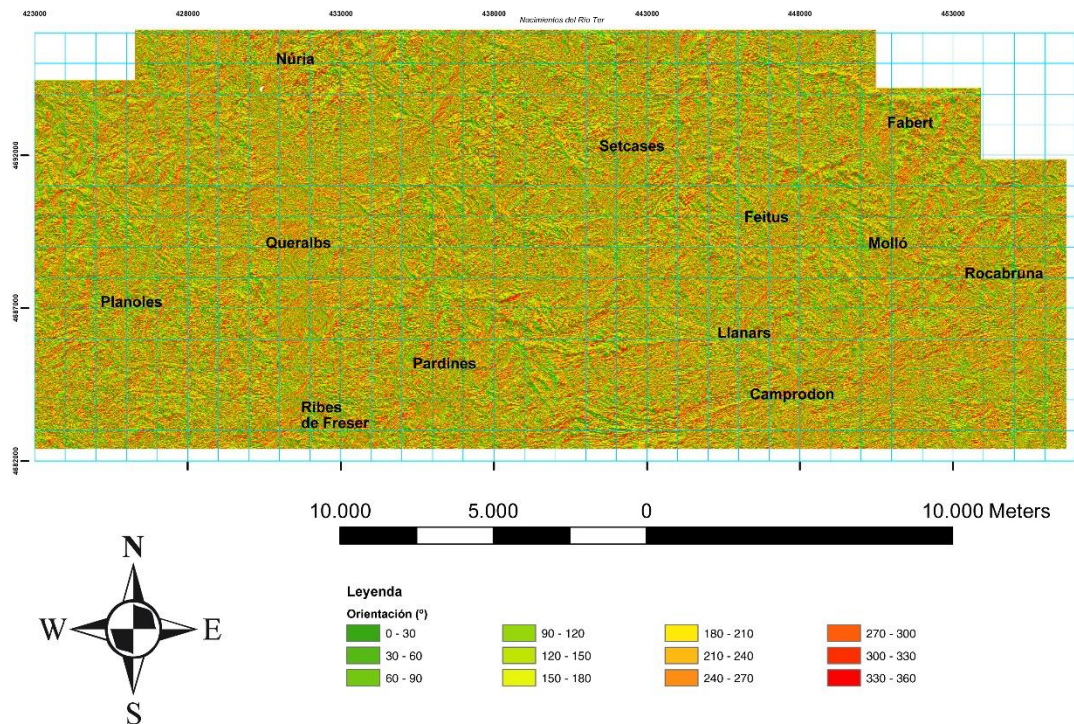


Figura 4.47 Mapa de orientación

En el mapa de orientación, no es posible discernir claramente algún comportamiento específico en cuanto a la orientación preferencial de las laderas, que es una expresión directa de la orientación de las geoformas (sierras, valles aluviales, montañas, etc.).

Adicionalmente se obtuvo el mapa de distancia euclídea a la Coumelade (Figura 4.48); el cual muestra la distancia de la Coumelade a los centroides de cada una de las cuadrículas en las que se dividió el área y se realizó la interpolación, usando el método de Kriging.

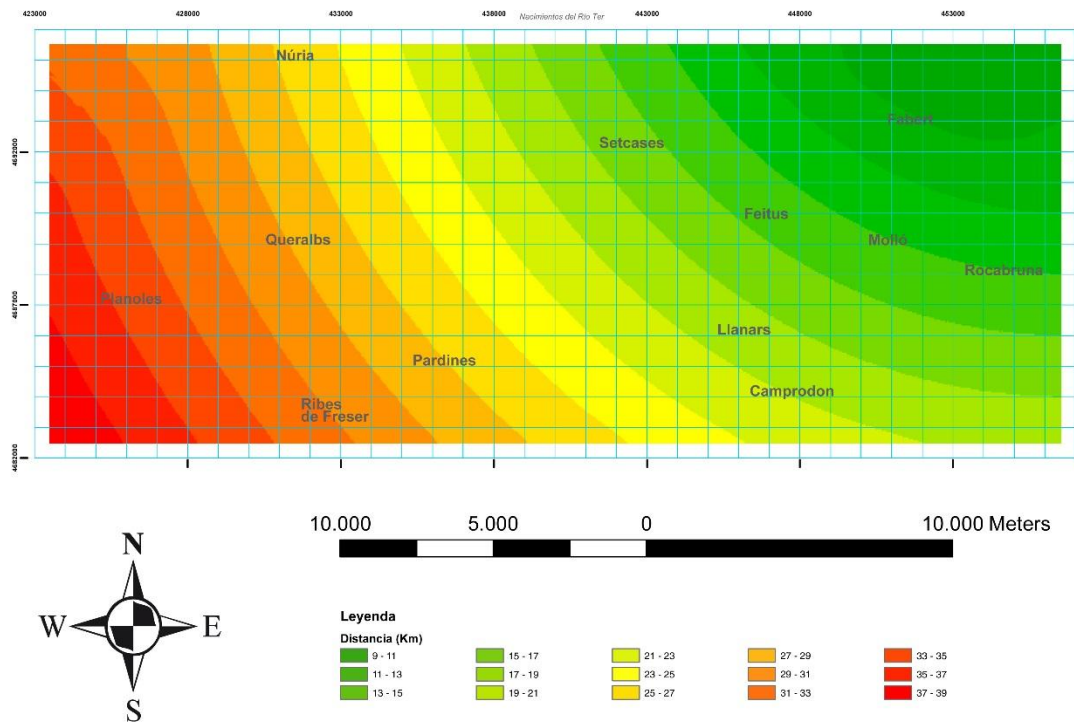


Figura 4.48 Mapa de distancia a la Coumelade

Este mapa de la distancia a la Coumelade (Figura 4.48) y la distribución que se obtuvo en el mapa de isoyetas (Figura 4.37), muestran que la relación entre la distribución de la lluvia y la distancia al centro de la tormenta prácticamente es la misma: a mayor distancia de la Coumelade menor valor estimado para la precipitación. Para el caso de estudio, esta relación se presenta de NE (Fabert) hacia el SW (Planoles).

Finalmente, mediante la combinación de los mapas de las variables anteriormente descritas, se procedió a calcular el promedio de lluvia total por km^2 , se construyó el mapa digital de precipitación (Figura 4.49).

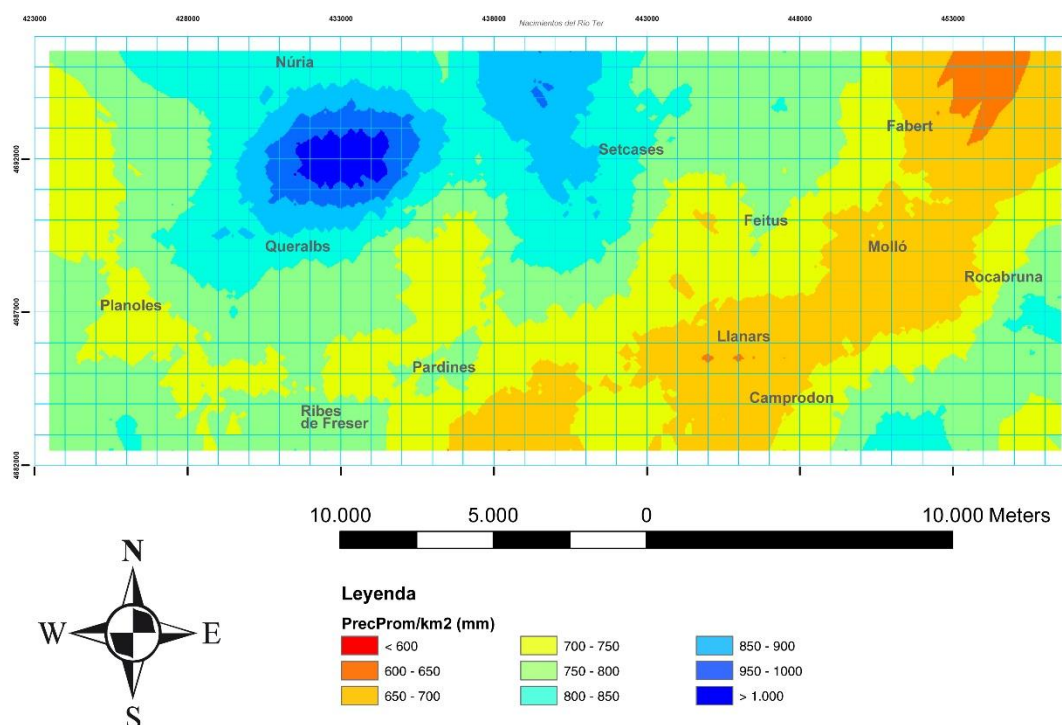


Figura 4.49 Mapa digital de precipitación del área Molló-Queralbs

El mapa digital de precipitación obtenido (Figura 4.49) muestra variabilidad espacial en la distribución de las lluvias, como consecuencia de la participación de las variables orográficas, en contraste con el comportamiento uniformemente decreciente de NE a SW de los resultados obtenidos inicialmente (mapa de isoyetas de la Figura 4.37). Se puede ver que la concentración de los mayores valores de las variables orográficas, pendiente y curvatura, coincide con la mayor precipitación estimada: en el sector de Torreneules al sur del Pic de Noucreus (entre Queralbs y Nuria) y en los nacimientos del río Ter. Este resultado y la base de datos relacionada, se utilizan para analizar la relación entre el campo de densidad de roturas y el mapa digital de precipitación.

El análisis estadístico con el método del EMV, aplicado a la base de datos de precipitación promedio por km² (Anexo 8), mediante la evaluación de las 65 distribuciones teóricas (Anexo 9), el ranking de bondad del ajuste (Anexo 10)

indica que la distribución que mejor representa a los datos corresponde a la de tipo Wakeby con un valor $p = 0.91$. El histograma y PDF correspondientes se muestran en la Figura 4.50, donde se observa que la precipitación promedio por km^2 se distribuye de manera uniforme en todo su rango; y, que el intervalo entre 700 mm y 850 mm, presenta la mayor concentración de valores de la precipitación.

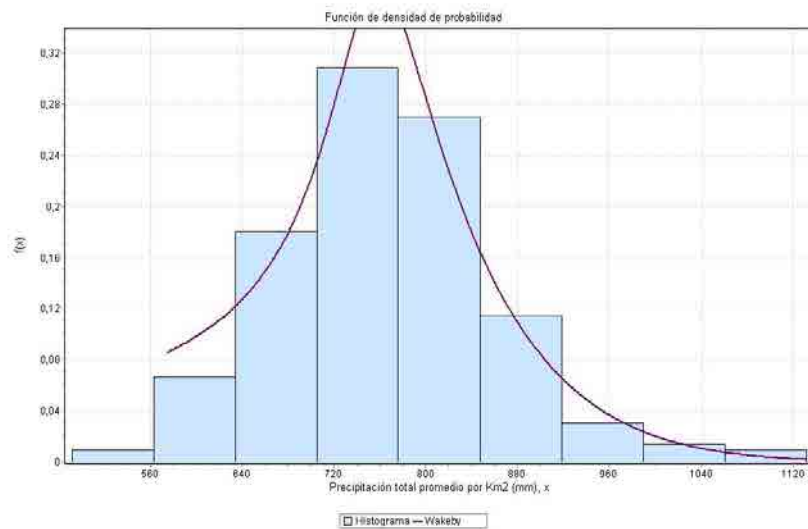


Figura 4.50 Histograma y PDF Wakeby para el campo de densidad de precipitación promedio por km^2

La superposición de los mapas de densidad de MM (Figura 4.32) y de campo de lluvias (Figura 4.49), produce la base de datos que se presenta en el Anexo 11.

Mediante la aplicación del método de regresión lineal simple se obtuvo la correlación representada por la Ecuación 7:

$$\text{Ecuación 7: Densidad de roturas} = 0.0059 * (\text{Precipitación promedio por } \text{km}^2)$$

con un coeficiente de determinación $R^2 = 0.54$ (Figura 4.51), que indica que un 54% de la variación de la densidad de roturas es explicada por el modelo y sugiriendo una relación positiva incipiente entre las variables.

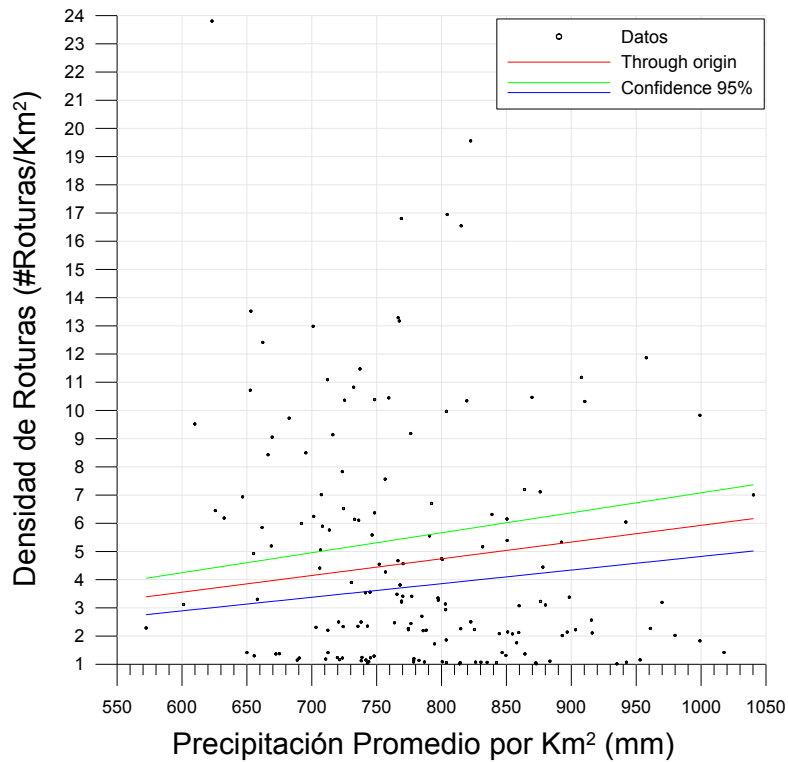


Figura 4.51 Relación densidad de roturas y precipitación promedio por km².

4.1.5 Discusión

4.1.5.1 Discusión de resultados

Aunque Corominas et al (2005) proponen que la litología y el relieve son responsables de la distribución geográfica de los deslizamientos, es plausible que los más frecuentes estén relacionados a factores climáticos (lluvia, fusión de nieve, oleaje y erosión fluvial). Independientemente de las causas

subyacentes, el evento lluvioso de octubre de 1940, clasificado como una depresión no frontal tipo Gota de Aire Frio (Cuadrat y Pita, 2009), se constituye en la lluvia de mayor intensidad registrada para Europa (T.S.V.P., 1940) y a pesar de que se constituyó en una lluvia histórica en Catalunya (y que afectó gran parte de los Pirineos Catalanes) la literatura sólo menciona cicatrices de MM en la vertiente N de la Serra de Fembra Morta (Corominas, 2006) y la corriente de derrubios de Rocabruna el 18 de octubre de 1940 con 6 víctimas mortales (Corominas et al, 2005), de tal suerte que los 620 MM documentados en esta Tesis aportan nuevos elementos para la reconstrucción de este evento; no obstante las inherentes limitaciones en información: imposibilidad de verificación oportuna en campo, ausencia de fotografías aéreas previas y pérdida parcial del registro de MM debidos al lapso de tiempo transcurrido desde la época de ocurrencia de la tormenta y la realización del vuelo que tomó las fotografías aéreas pos-evento.

En esta investigación fue posible ubicar temporalmente el pico de la intensidad de las precipitaciones y aunque es deseable la determinación de la lluvia detonante, esto no fue posible dado que se desconoce con exactitud el momento de ocurrencia de los MM no obstante los recuentos de los testigos de ese momento y reportes de recortes de prensa.

Del área de Molló-Querolbs se documentó la existencia de MM clasificables en dos tipos: deslizamientos superficiales (326) y corrientes de derrubios (294) que son estadísticamente no diferenciables, lo cual ameritó su análisis como una sola muestra. La comparación de este inventario de MM con la información disponible de geomorfología y formaciones superficiales reveló que

efectivamente la gran mayoría de los MM afectó las áreas con cobertura de formaciones superficiales, especialmente derrubios de vertientes.

La relación magnitud – frecuencia es una función de imprescindible análisis al evaluar la peligrosidad y algunos autores han propuesto la distribución Gamma Inversa (Malamud et al, 2004a y 2004b). En esta Tesis se siguió el procedimiento propuesto en trabajos previos (Evans, 1977; Haan, 1982; Newman, 2005; James y Plank, 2007; Sims et al, 2007; Edwards, 2008; Clauset et al, 2009), pero incluyendo una selección de amplitud de intervalos de agrupación y cálculos de errores en la estimación de parámetros de múltiples modelos de PDF. Todo esto precedido de una determinación cuantitativa del mejor método de acotamiento de los datos (que en este caso correspondió al método LBN) de tal forma que se ajustara a un comportamiento lineal bien definido, aunque posteriormente es el método RF el usado para corroborar o refutar dicho ajuste. Para evitar el acotamiento innecesario de datos susceptibles de análisis se aplicó el estimador de máxima verosimilitud - EMV, un método robusto y de aplicación no generalizada en el tema de los MM, que simultáneamente computa 65 distribuciones probables con sus respectivos parámetros para la evaluación de la bondad del ajuste (James y Plank, 2007; Edwards (2008) y Clauset et al (2009)). En particular en esta Tesis se aplicó el EMV a los datos cuantitativos y mapas de campos de densidad de roturas y de lluvias, lo cual garantiza el rigor y la robustez del procedimiento, que está soportado en la correlación encontrada entre el perfil topográfico y el pluviométrico (Figura 4.38).

Para el caso de Molló-Queralbs el campo de densidad de MM y el campo de lluvias son mejor explicados por PDF de tipo Generalized Gamma y Wakeby

(Figura 4.50), respectivamente. Esta diferencia en comportamientos de los datos puede deberse simplemente al hecho de que se trata de dos fenómenos diferentes, pero más importante aún al hecho de que uno (las lluvias) es el generador del otro (MM), sin descartar la influencia de otros factores subyacentes como pendiente topográfica, formaciones superficiales, forma del terreno y orientación de las laderas. Dado que muchos autores utilizan el método gráfico para determinar un ajuste visual a los datos (particularmente para inventarios de MM y no para campo de densidad de MM) mencionamos que el inventario de MM en este caso fue mejor modelado por una distribución tipo Wakeby (Figura 4.27). No obstante, en esta Tesis la metodología diseñada incorporó análisis que fueron más allá de los métodos tradicionales: determinación de la PDF de mejor ajuste a los datos seleccionada de un conjunto completo de distribuciones probables, cálculo del campo de densidad de roturas, determinación del mapa digital de precipitación y del correspondiente campo de lluvias.

A pesar de la razonable reconstrucción de los campos de lluvias y densidad de roturas, la correlación calculada entre estos no permite visualizar la existencia de una relación fuertemente positiva entre el campo de lluvias del evento lluvioso de octubre de 1940 y los 620 MM inventariados y mucho menos una relación causal. Esto probablemente debido a la influencia de factores intrínsecos no considerados (mapas de formaciones superficiales a partir de información primaria y detallada, actividad antrópica) que determinan la susceptibilidad del terreno a MM.

4.1.5.2 Factores determinantes para la aparición de las roturas

El análisis de los mapas de campo de densidad de MM (Figura 4.32) y el digital de precipitación (Figura 4.49) indican que las zonas donde se concentra la mayor precipitación no coincide con la de mayor densidad de roturas, pero si con la de mayores pendientes topográficas (Figura 4.45). Sin embargo, en esta zona de mayores pendientes topográficas hay escasez de formaciones superficiales (Figura 4.29), lo cual explica la poca ocurrencia de MM conforme se explicó con ayuda de la Foto 4.7. Las zonas de concentración de MM corresponden a sitios con precipitaciones de aproximadamente 700 mm, con cobertura de formación superficial coluviales que cubren litologías lutíticas.

Adicionalmente, aunque no estrictamente era el objetivo de la Tesis el análisis de la susceptibilidad, para analizar la influencia de algunos factores, especialmente para evidenciar la importancia de la formación superficial, se realizó el procedimiento de combinar el mapa de pendientes, el de formación superficial y el de lluvias para analizar el comportamiento de la densidad de roturas. Esta parte del trabajo se presenta en los siguientes párrafos del presente apartado.

Teniendo en cuenta que para la generación de roturas debe existir cobertura de formación superficial, se realizó la intersección entre los mapas de campo de densidad de roturas (Figura 4.32), de pendiente topográfica (Figura 4.45) y el mapa digital de precipitación (Figura 4.49), tomando como base de agrupación de los datos el mapa de pendientes y se obtuvieron los resultados que se presentan en la

Tabla 4.9 y la base de datos respectiva que se presenta en el Anexo 12.

Tabla 4.9 Resumen de la relación entre pendiente topográfica y densidad de movimientos en masa para el área Molló-Queralbs

GRIDCODE	Pendiente (°)	No. MM	Área Rotura (m ² /km ²)
1	0-5	0	0
2	5-10	0	0
3	10-15	1	8303
4	15-20	71	484891
5	20-25	161	894947
6	25-30	194	1030116
7	30-35	127	590421
8	35-40	26	109801
9	40-45	22	111700
10	45-50	16	77031
11	50-55	2	9592
12	55-60	0	0
13	60-65	0	0

Los resultados de la

Tabla 4.9 muestran que los movimientos en masa se presentan en un rango de pendiente topográfica entre 15° y 55°, confirmando el valor crítico de $\theta \approx 15^\circ$ a partir del cual inicia la ocurrencia de roturas. Los valores de precipitación calculada para este rango de pendientes y generación de MM están entre 730 mm y 866 mm. Valores de precipitación mayores a 900 mm, no generaron MM debido a la ausencia de formación superficial debido a los valores altos de la pendiente topográfica; y para valores menores a 10°, tampoco, debido precisamente a la baja pendiente. Para pendientes mayores a 55°, aunque los valores de precipitación calculada son mayores a los del rango establecido para las pendientes en las que se presentan roturas, de los resultados se obtuvo evidencia en el sentido que no se generan movimientos en masa debido a la falta de cobertura de formación superficial en estas zonas empinadas, que estarían constituidas principalmente por roquedos.

Los mismos datos de la

Tabla 4.9, indican que cerca del 78% de las roturas se concentran en sitios con valores de pendiente topográfica entre 20° y 35°. Sin embargo, el valor calculado de las precipitaciones es muy estrecho, inclusive para la totalidad del rango de pendientes en los que se presentaron MM.

De otra parte, si se analiza la variación de la densidad de movimientos en masa en función de la precipitación para un mismo valor de pendiente topográfica se obtienen relaciones como la observada en la Figura 4.52 y en la Figura 4.53. En estas se observa un comportamiento creciente en el número de MM a medida que se incrementa el valor de la precipitación calculada, lo cual es consistente con lo esperado, teniendo en cuenta que la formación superficial está cubriendo las zonas de dichas pendientes y que una mayor intensidad del evento lluvioso tendrá un mayor grado de desestabilización en diferentes sitios del territorio. No obstante lo anterior, a medida que se incrementa el valor de la pendiente topográfica considerada, la pendiente de la línea de tendencia disminuye (Figura 4.54 y Figura 4.55).

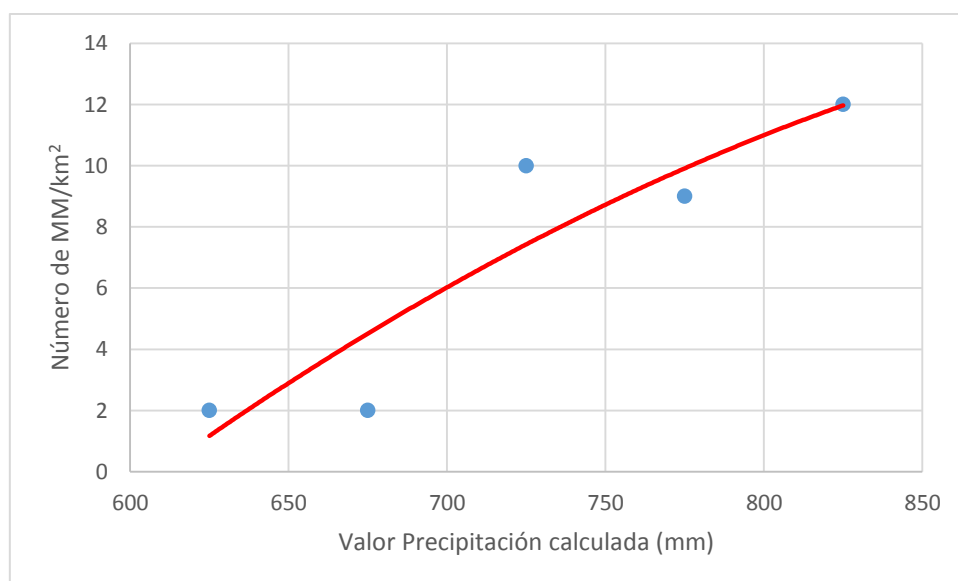


Figura 4.52 Variación de la densidad de movimientos en masa con la precipitación para una pendiente entre 25° y 30°

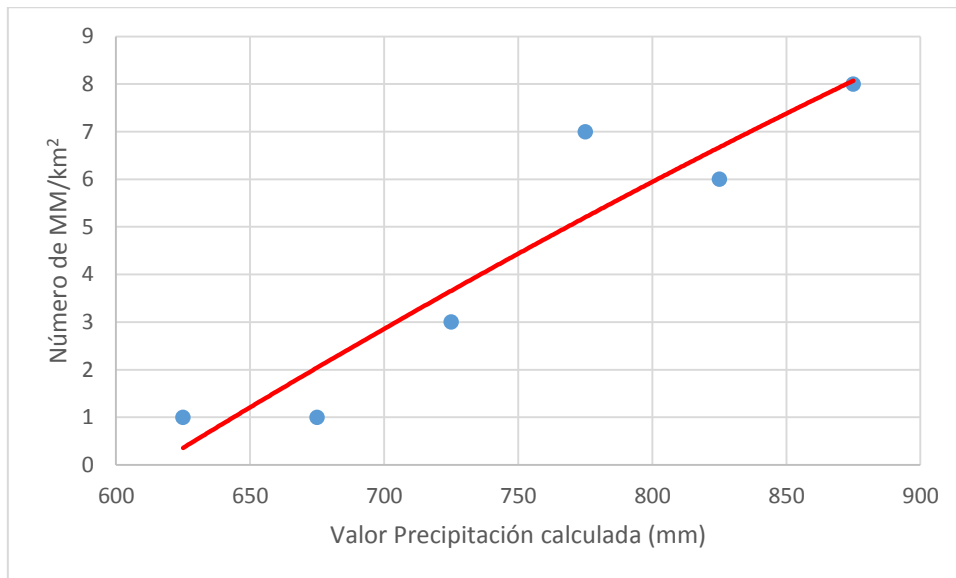


Figura 4.53 Variación de la densidad de movimientos en masa con la precipitación para una pendiente entre 30° y 35°

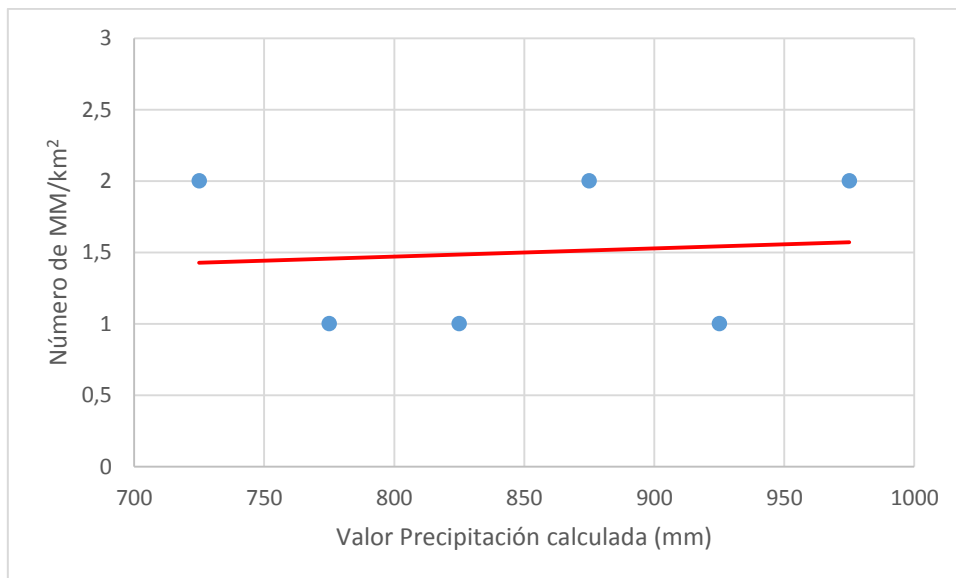


Figura 4.54 Variación de la densidad de movimientos en masa con la precipitación para una pendiente entre 40° y 45°

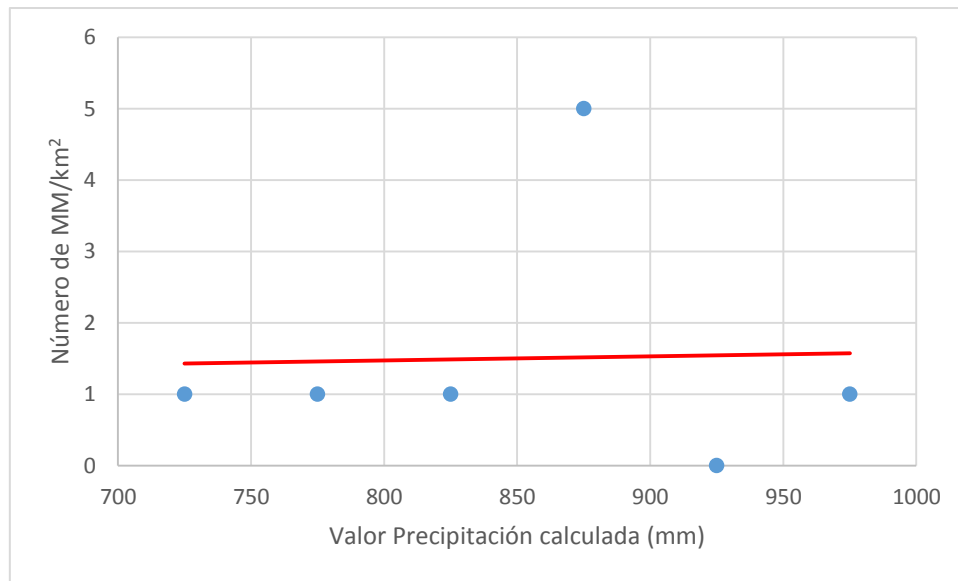


Figura 4.55 Variación de la densidad de movimientos en masa con la precipitación para una pendiente entre 45° y 50°

Al efectuar el mismo procedimiento tomando como variable a comparar con la precipitación, el área de roturas por kilómetro cuadrado para diferentes rangos de pendiente topográfica desde 20° a 45°, se tienen los resultados que se presentan en la Figura 4.56, Figura 4.57, Figura 4.58, Figura 4.59 y Figura 4.60. En estas figuras se puede observar, al igual que se obtuvo para el caso de número de roturas por km², que para un mismo rango de pendiente topográfica con formación superficial el valor de la densidad de roturas se incrementa con el de la precipitación calculada. Sin embargo, a medida que se incrementa el rango de la pendiente topográfica, la pendiente de la línea de tendencia disminuye. Este resultado indica a medida que se incrementa la pendiente topográfica la cantidad de formación superficial disminuye y por lo tanto la cantidad del área de las roturas, hasta llegar a un valor de pendiente topográfica en el cual no hay disponibilidad de formación superficial como en el caso de los roquedos que superan fácilmente los 60° de inclinación.

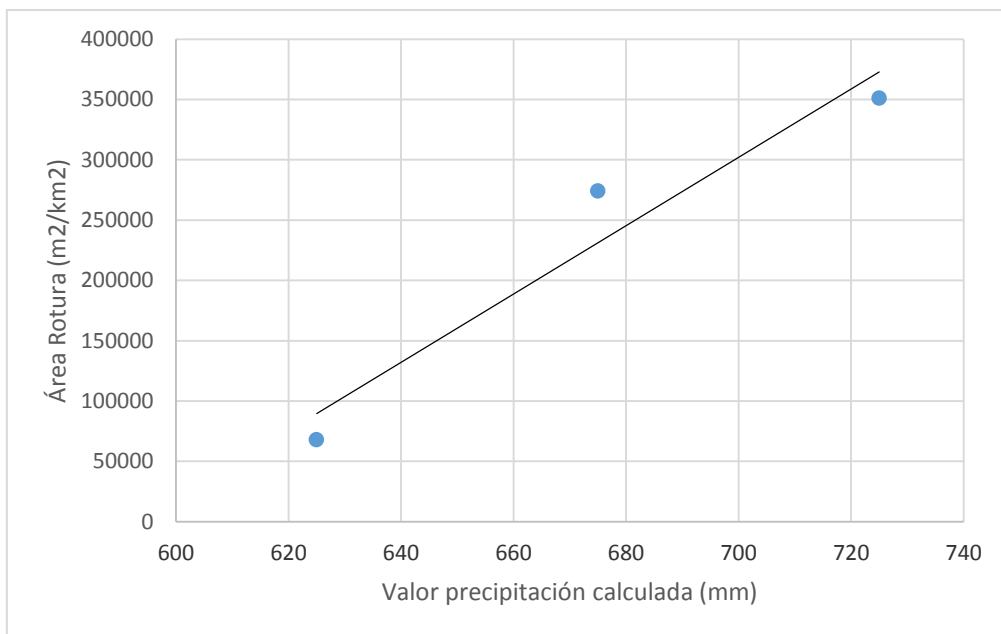


Figura 4.56 Variación de la densidad de roturas con la precipitación para una pendiente entre 20° y 25°

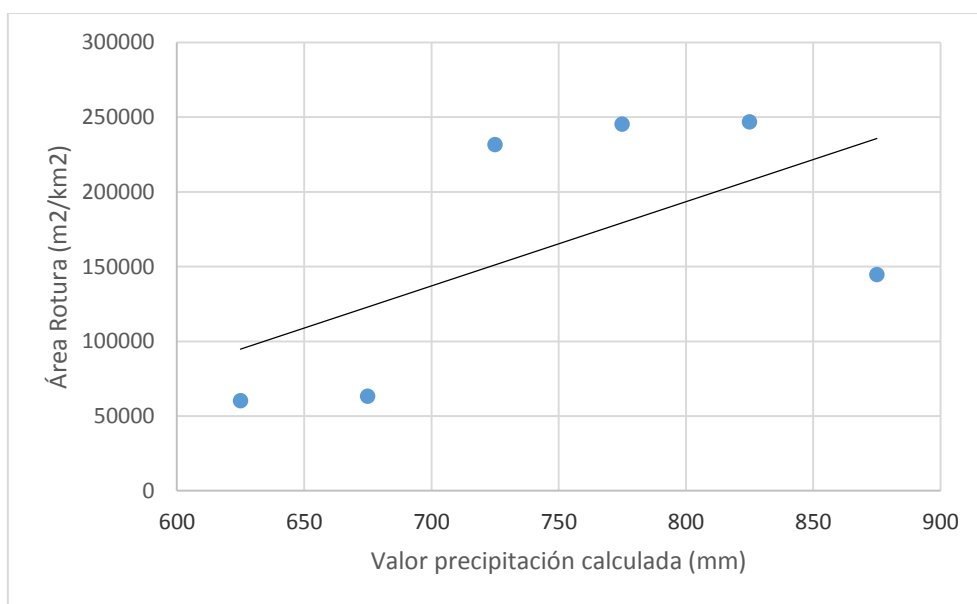


Figura 4.57 Variación de la densidad de roturas con la precipitación para una pendiente entre 25° y 30°

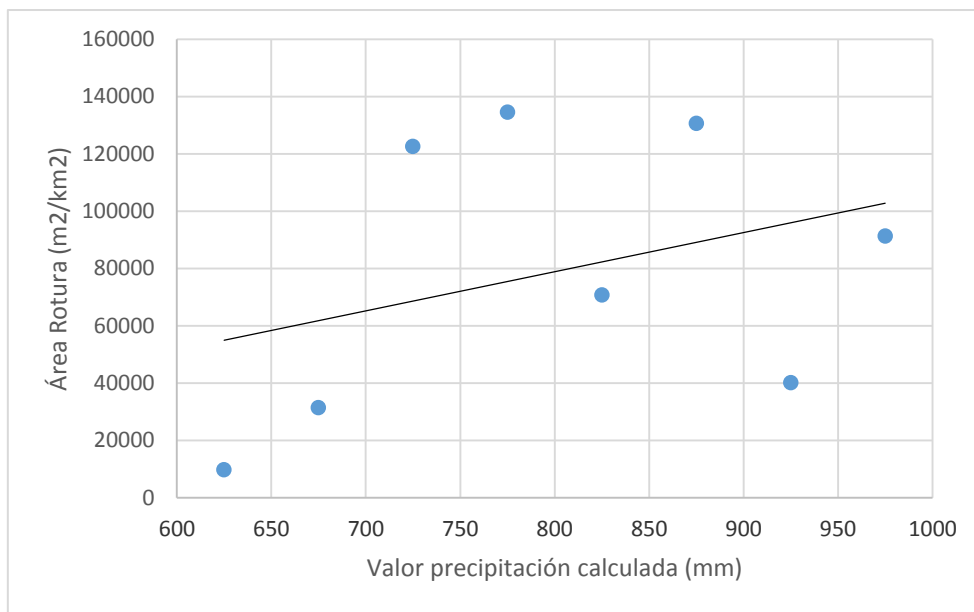


Figura 4.58 Variación de la densidad de roturas con la precipitación para una pendiente entre 30° y 35°

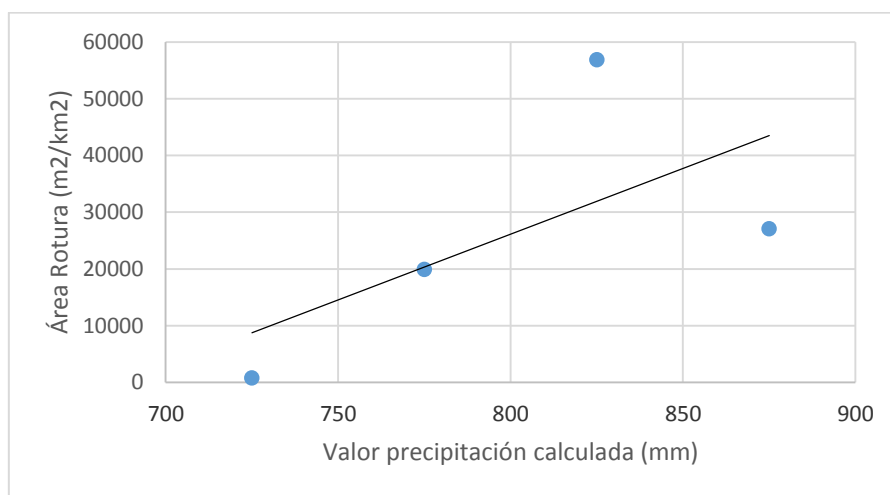


Figura 4.59 Variación de la densidad de roturas con la precipitación para una pendiente entre 35° y 40°

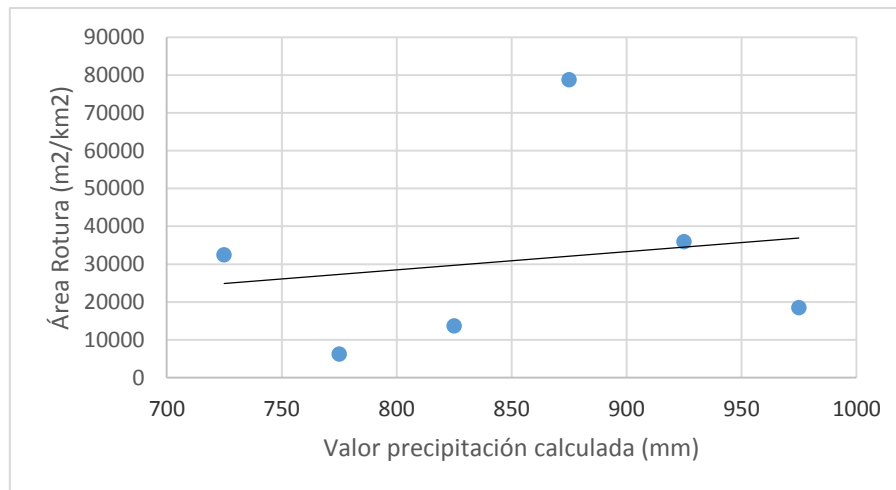


Figura 4.60 Variación de la densidad de roturas con la precipitación para una pendiente entre 40° y 45°

Alternativamente, es razonable suponer que la baja correlación espacial entre los campos de densidad de MM (Figura 4.32) y el de lluvias (Figura 4.37) explica la no correlación estadística fuerte (Figura 4.51). Sin embargo, esta última también puede deberse a que las diferencias entre los valores de precipitación calculada para los sitios de ocurrencia de MM y los demás del área de estudio, no son tan marcadas. También puede deberse a la influencia de las características locales del terreno en los lugares de presencia de MM.

4.2 Barruera – Vielha

Esta área denominada Barruera-Vielha (BV), debe su nombre a estos dos municipios localizados en la parte norte de la provincia de Lleida (Figura 4.61), Barruera en la comarca de la Alta Ribagorça y Vielha en la comarca de Vall d'Árán; localizadas a 250-300 km al NW de Barcelona (Comunidad Autónoma de Cataluña, España). Por el N limita con el eje pirenaico, por el S con Vilaller -

Cabdella, por el E con el Port de la Bonaigua - La Torre de Cabdella y por el W con el Pico de Aneto y Montanúy de la Comunidad Autónoma de Aragón.

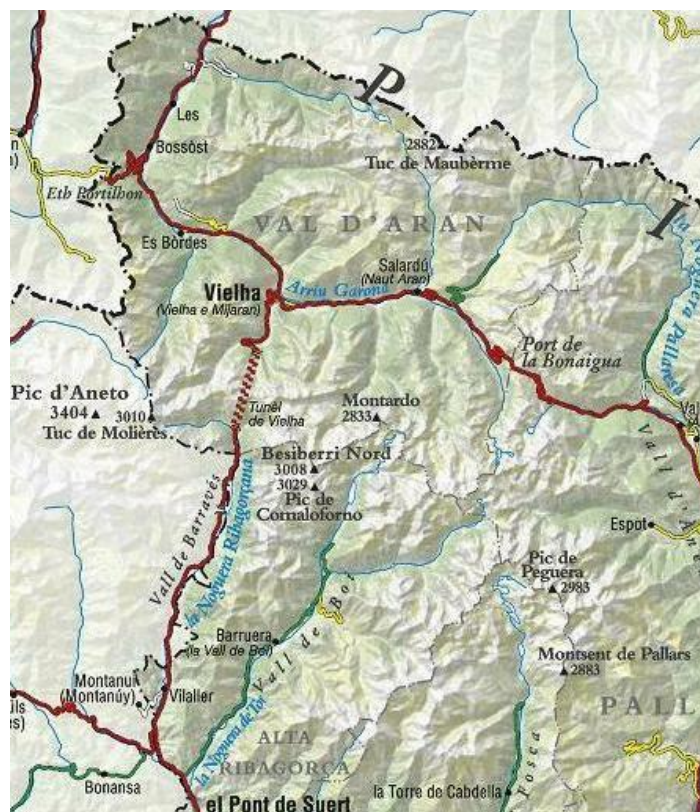


Figura 4.61 Localización del área Barruera - Viella y referentes geográficos de los alrededores (ICC, 2014)

En esta zona destacan los picos de Montardó (2833 m), Besiberri Nord (3008 m), Cormalofoño (3029 m) y Punta Alta de Comalesbienes (3014 m), cuyas laderas son drenadas por los drenajes de las cuencas del Noguera Ribagorçana, del Noguera de Tort y el río Garona. La economía de la región se basa en el turismo (estación de esquí del Port de la Bonaigua), la industria termoeléctrica y en menor proporción también de la ganadería y la agricultura. Esta área abarca la región oriental de las planchas geológicas de Bossost_148 y Benasque_180 y la región occidental de las planchas Isil_149 y Esterri_181. La descripción completa de las unidades litológicas, y epígrafes respectivos

que se citan en el texto, se presenta en el (Figura 4.12) y en el Anexo 13. En los siguientes apartados se resume lo relevante para la temática de la investigación.

4.2.1 Sustrato rocoso

En la parte central del área de estudio (Figura 4.62) afloran rocas ígneas cuya composición varia de caurzogabros anfibólicos y granodioritas a granitos porfiríticos con presencia de diques aplíticos y de diorita porfirítica (GaDs, Gdb, Gdba, Ggc, Ggdbh, Gp y Gtb), todas estas rocas de edad Permiano-Carbonífero. Rodeando este macizo granítico, al SE del área de estudio, se encuentran rocas meta-sedimentarias constituidas por conglomerados, areniscas, calizas y arcillolitas con fases de metamorfismo de contacto y regional, así como pizarras, filitas y mármoles; todas estas rocas de edad Paleozoico Superior. Al norte del área de estudio afloran rocas del Silúrico y Devónico constituidas por lutitas negras, pizarras negras y calizas (mc_Dcacb, SDcl, SDpc, mc_Dpf, Dpf, DP1, Dcma y Db) y rocas del Cambriano-Ordovícico constituidas por conglomerados, areniscas, lutitas (Çrgl, ÇOrgl y Orva).

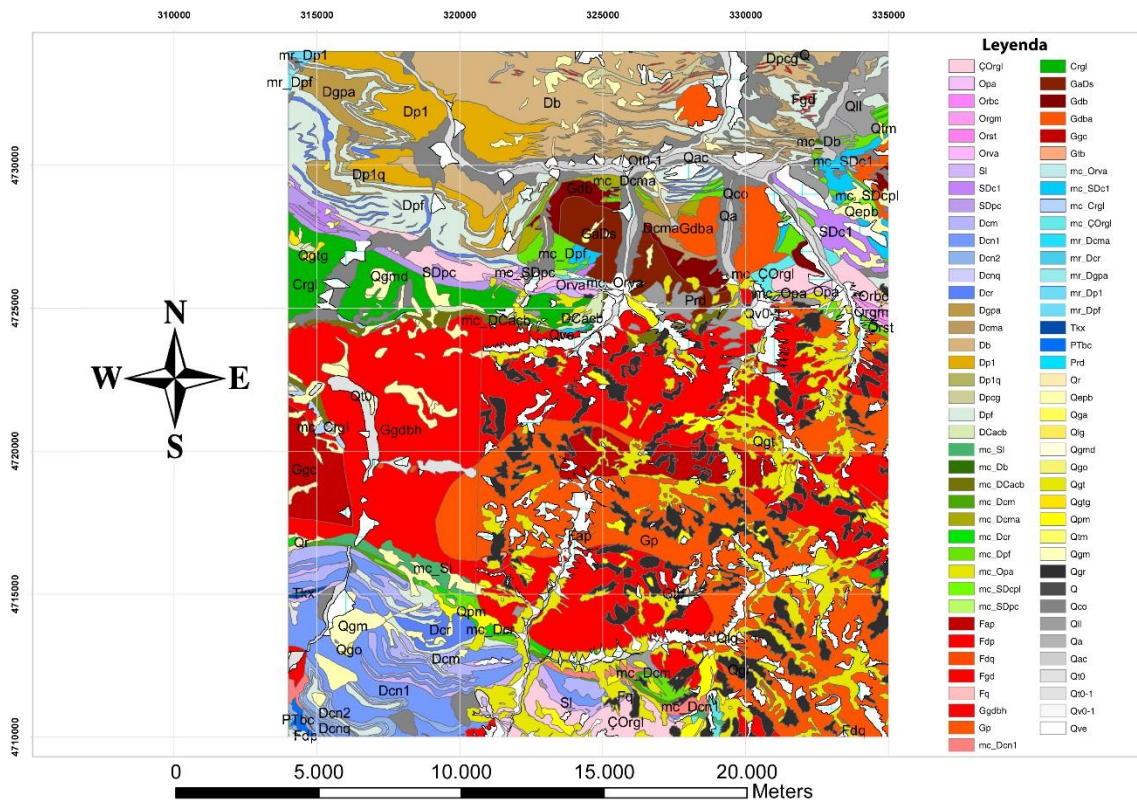


Figura 4.62 Mapa litológico del área Barruera-Vielha (ITGE, 1994).

4.2.2 Depósitos

El sustrato rocoso se encuentra en buena parte recubierto por formaciones superficiales, especialmente por depósitos de origen glaciar y fluvio-glaciar de edad Cuaternaria (ITGE, 1994), que por su importancia e implicaciones para el tema de investigación, se describen en los siguientes párrafos.

Depósitos de obturación glaciar (qgo): Estos depósitos de edad Pleistoceno constan de arcillas, limos, arenas y bloques, afloran en las cercanías de Senet, en el Noguera Ribagorçana.

Depósitos de glaciar o till (Qgt): De edad Pleistoceno, incluyen bloques y arena. Se encuentran cubriendo parte de las laderas a lo largo de los valles actuales.

Morrenas (qgmd, Qpm, qtm y qgm): morrenas degradadas que se conservan en las confluencias de los cauces con el valle principal formando terrazas colgadas sobre el cauce actual del valle. Son depósitos caóticos y heterométricos de arcillas, limos, arenas, clastos y bloques. Edad: Pleistoceno a Holoceno Antiguo.

Depósitos glaciares y periglaciares (Qgr): constituidos por clastos y bloques angulosos con poca matriz. Edad: Pleistoceno-Holoceno Antiguo.

Conos de deyección (Qve, qv0-1): son sedimentos gruesos, de hasta 4 metros de diámetro, y caóticos, superpuestos a los depósitos aluviales actuales. Estos conos están relacionados con colapsos de los depósitos de las terrazas antiguas colgadas (qt0-1). Los ejemplos más típicos son los de Bono, Senet y el Rebaixader, donde el espesor de estos materiales alcanza los 15-20 metros. Edad: Holoceno.

Derrubios de Ladera (qac): depósitos de grava con matriz arenosa y arcillosa; contienen fragmentos angulosos de tipo coluvial y aluvial.

Depósitos aluviales (qt0, qt0-1): Depósitos actuales de los ríos a lo largo de los respectivos cauces. Edad: Holoceno.

Los depósitos Cuaternarios se presentan a lo largo de los valles del Noguera Ribagorçana, Noguera de Tor, río Garona y sus afluentes. Es muy común encontrar los conos de deyección en el Noguera Ribagorçana, el Vall de Boi y en el río Garona; los depósitos aluviales del Qt0, se presentan en la parte baja del Noguera Ribagorçana y la de Tor, mientras los depósitos de terrazas antiguas son más comunes en la parte alta de la cuenca del Noguera Ribagorçana y en el río Garona. Los depósitos glaciares y periglaciares se encuentran en las partes altas y planas donde afloran los macizos rocosos

ígneos, favoreciendo la presencia de lagos y estancos de agua. Los derrubios de ladera se presentan en el valle del río Garona desde Salardú a Arties y en el valle de Valarties. Finalmente, los depósitos morrénicos son comunes en Bono, Senet y Estet, en la vertiente E del valle del Noguera Ribagorçana.

4.2.3 Rasgos morfológicos y formaciones superficiales

Para esta área, sólo se cuenta con mapas de formaciones superficiales en la zona de Benasque. De acuerdo a ITGE (1994), la morfología regional está controlada por dos factores: la litología y los procesos. La litología se describió en el epígrafe anterior y en cuanto a los procesos es claro que ellos fundamentalmente fueron de carácter glacial y que actuaron a lo largo del Cuaternario dando origen a formas que han sido modificadas por procesos periglaciares y fluvio-torrenciales actuales que han conformado una morfología típica de alta montaña.

Lo anterior da origen a dos dominios marcados por un control litológico (ITGE, 1994): el primero correspondiente a áreas cuyo substrato rocoso corresponde a rocas graníticas, circunscrito a la parte central del área de estudio, delimitado por los valles del Noguera Ribagorçana, el Noguera de Tor y el río Garona; áreas que se caracterizan por presentar un relieve muy marcado y abrupto, con fuertes escarpes y crestones, con intensa gelifracción, con poco desarrollo de formaciones superficiales y presencia de depósitos de bloques y canchales. El segundo dominio corresponde a un substrato rocoso con materiales de menor competencia, más propicios para la presencia de formaciones superficiales donde dominan las incisiones fluvio-torrenciales con rasgos de carcavamiento y

roturas circulares y movimientos de ladera debidos a fenómenos de solifluxión, gelifluxión y deslizamientos.

Los movimientos de ladera asociados a gelifluxión, afectan formaciones superficiales de poco espesor, se concentran en zonas altas de las lomas y en laderas de poca pendiente dando lugar a las típicas formas lobuladas y aplanadas. De otra parte, los fenómenos de gelifracción tienen lugar en los dominios de rocas graníticas.

Las roturas, que afectan normalmente a las formaciones superficiales y coluviones de laderas de pendiente moderada, se caracterizan por presentar cicatrices semicirculares sin formación de depósitos ni desarrollo de coladas o de corrientes de derrubios (ITGE, 1994).

4.2.4 Reconstrucción de los eventos

La información disponible del evento de Agosto de 1963 es imprecisa e incompleta. El evento, aunque tuvo consecuencias notables para la economía local y sobre la infraestructura, tuvo relativamente poca repercusión en los medios de comunicación de la época. La baja densidad de estaciones meteorológicas existentes en la región es una dificultad añadida de cara a la reconstrucción del episodio de deslizamiento.

El área afectada se extendió fundamentalmente por el Pirineo Central, comprendiendo las cuencas altas del río Garona, la Noguera Ribagorçana y el río Ésera. Aunque el episodio lluvioso duró más de una semana, las lluvias de mayor intensidad se recogieron el sábado 3 de agosto y se repitieron el día 5. Los daños fueron de consideración en Valarties, en la cuenca del Garona, la

cubeta de Bono en la Noguera Ribagorçana y en Benasque en la del Ésera. Las descripciones de los periódicos dan a entender que una buena parte de los mismos se debían al aporte sólido de las corrientes de agua, y deben interpretarse como resultado de corrientes de derrubios (Foto 4.9 - Benasque). Una de las escasas descripciones de las consecuencias del evento se encuentra en el artículo de Brocal (1984).



Foto 4.9 Barranco de Remáscaro en Eriste, vecindad de Benasque. Una parte significativa de los depósitos acumulados en el cono de deyección corresponden al evento de Agosto de 1963. (Foto: J. Corominas)

El sector de Barruera- Vielha tiene características de alta montaña pero a diferencia del de Molló-Queralbs, una parte importante de las roturas y materiales movilizados corresponden a depósitos morrénicos (Foto 4.10) situados a varios cientos de metros por encima del fondo de los valles. La infiltración del agua de lluvia junto con la erosión superficial propician la formación de deslizamientos rotacionales y su canalización como corrientes de derrubios (Foto 4.11 - Erill-la-Vall).



Foto 4.10 Detalle del depósito morrénico de Erill-la-Vall (Foto: J. Corominas)



Foto 4.11 Depósito morrénico en Erill-la-Vall, valle del Noguera de Tor. Según diversos testimonios, este depósito experimentó durante el siglo XX diversas roturas que han resultado en corrientes de derrubios que alcanzaron el cono de deyección donde se encuentra la población (Raïmat et al, 2012).

Para el inventario, se realizó la interpretación de las fotografías aéreas de 1975 (ICC), obteniéndose 207 movimientos en masa (MM), de los cuales 65 corresponden a deslizamientos superficiales (DS) y 142 a corrientes de derrubios (FD). Posteriormente, se procedió a realizar la corrección de dicho

inventario con base en las fotografías aéreas del Servicio Geográfico del Ejército (1956/57): las cicatrices que ya existían en éstas últimas fotos, o la extensión de las cicatrices que no coincide con la observada en las fotografías de 1975, se descartaron como generadas por las lluvias de 1963.

El inventario de MM quedó conformado por 105 roturas, 31 de las cuales son de tipo DS y 74 son de tipo FD (Anexo 14), distribuidos en un área de 504 km², por tanto el conjunto de MM en masa en esta región también es clasificable como MORLE. La descripción estadística indica: 1) una distribución asimétrica hacia la derecha y leptocúrtica, 2) una moda en el rango 1000 - 2500 m² y 3) al menos el 85% de los MM tienen un área de cicatriz menor a 6.500 m². No obstante el análisis separado de los dos tipos de MM, revela diferencias en la forma de la distribución para valores de rotura superiores a 6.500 m², ya que no existen roturas del tipo DS arriba de este valor. Estos resultados, sugieren que los dos tipos de MM son diferenciables estadísticamente (Figura 4.63).

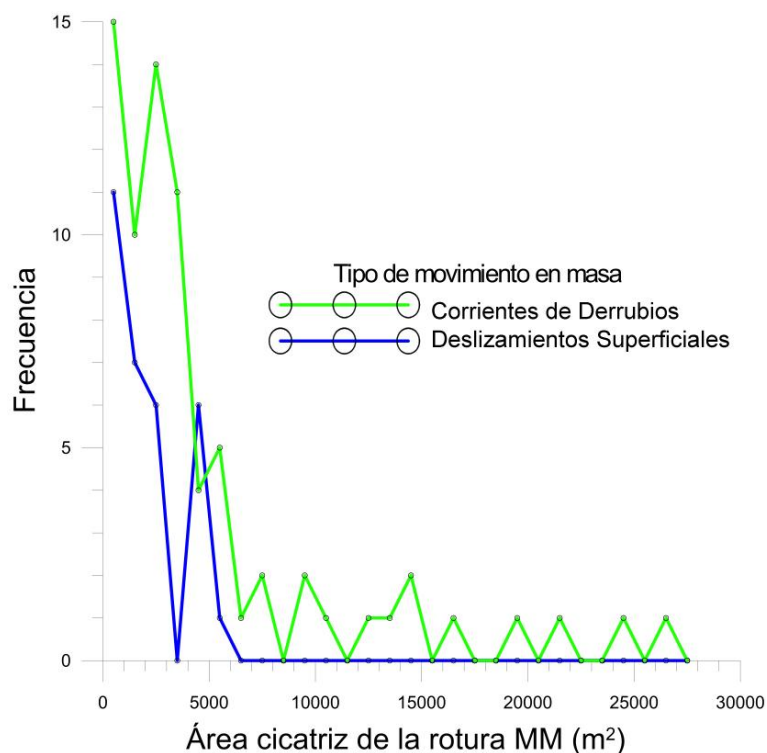


Figura 4.63 Histograma de frecuencias del área de rotura de los deslizamientos superficiales y corrientes de derrubios.

Para el área de Barruera – Vielha no existe información publicada asequible a cerca de formaciones superficiales.

4.2.4.1 Inventario de movimientos en masa

La aplicación del algoritmo de Scott (1979), resulta en una amplitud de intervalo de 3.7, con la implicación de un rango dividido en 7 intervalos. El histograma se presenta en la Figura 4.64. En esta gráfica es claro que la distribución de los datos de las cicatrices de roturas, para áreas menores a 6.000 m² está conformada por el aporte de ambos tipos de movimientos en masa, con predominio de las corrientes de derrubios, pero dado que a partir de este valor únicamente existen corrientes de derrubios (Figura 4.63) son por tanto los determinantes de la cola de la distribución.

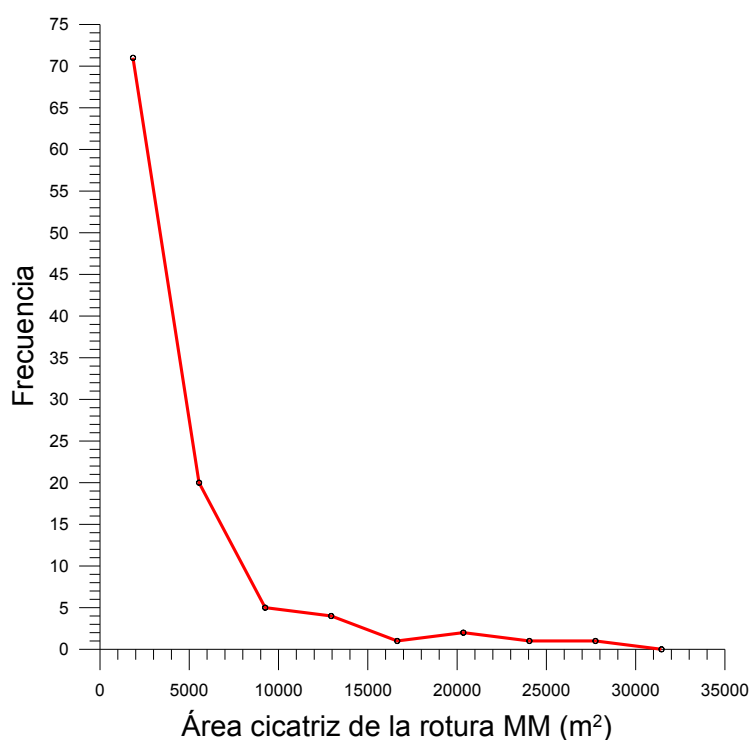


Figura 4.64 Histograma de frecuencias del área de rotura

De acuerdo a los resultados obtenidos para el área Molló-Queralbs se procedió a aplicar sólo el método LBN, que muestra un modelo cuyas expresión logarítmica sugiere tendencia lineal (Figura 4.65).

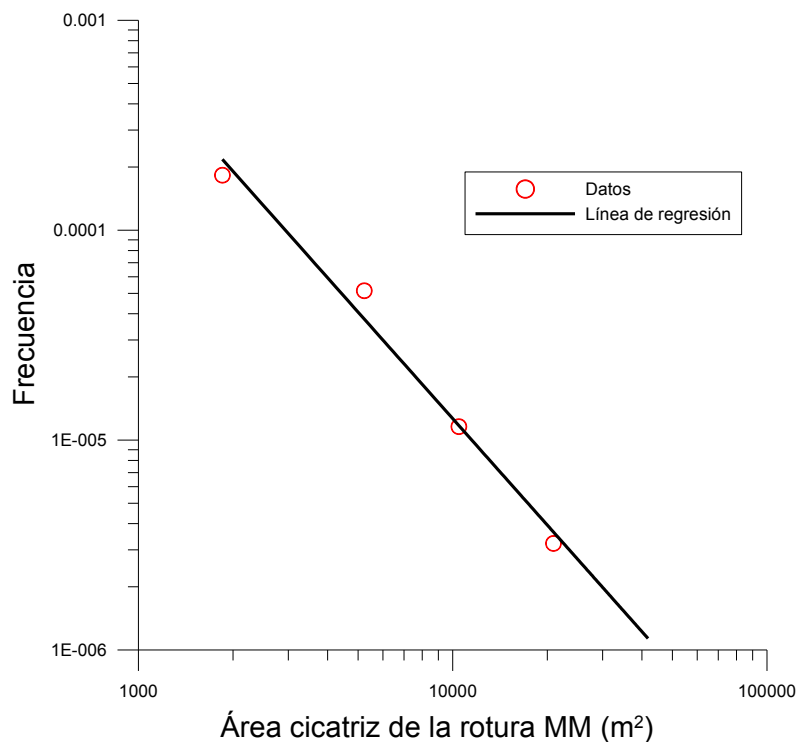


Figura 4.65 Gráfico del método LBN para el inventario de roturas

La Ecuación 8, corresponde a la recta de la Figura 4.65.

$$\text{Ecuación 8: } \ln(\text{frecuencia}) = -1.68 * \ln(\text{área cicatriz}) + 4.24$$

cuyo coeficiente de determinación es 0.98.

El método RF indica ajustes variables en los modelos evaluados. Un resumen de los aspectos relevantes de cada línea de ajuste se muestra en la Figura 4.66 y en la Tabla 4.10.

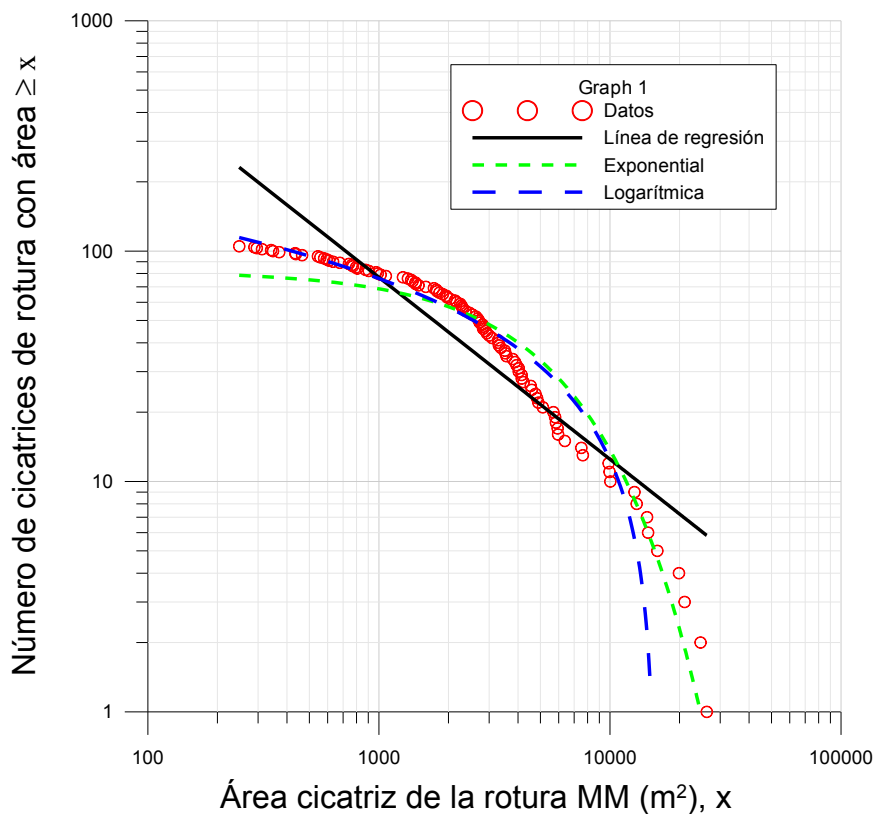


Figura 4.66 Gráfico del método RF para los datos de los movimientos en masa.

Tabla 4.10 Estadísticos de las líneas de regresión del método RF

Regresión	Ecuación	R ²
Potencial	frecuencia = -0.79 * ln(área cicatriz) + 9.80	0.84
Exponencial	frecuencia = exp(-0.00018 * área cicatriz) * 82.05	0.93
Logarítmica	frecuencia = -27.64 * ln(área cicatriz) + 267.00	0.96

En éste método, la línea de regresión no se ajusta a la distribución de los datos a pesar del valor de $R^2 = 0.98$ obtenido en el método LBN. Si el ajuste se evalúa visualmente, el modelo logarítmico sería el preferido, hecho confirmado por el valor del coeficiente de determinación. La versión modificada del gráfico RF (Figura 4.67) muestra ajuste lineal en el rango 2.000 m² -20.000 m², con incremento notorio de pendiente para valores > 20.000 m².

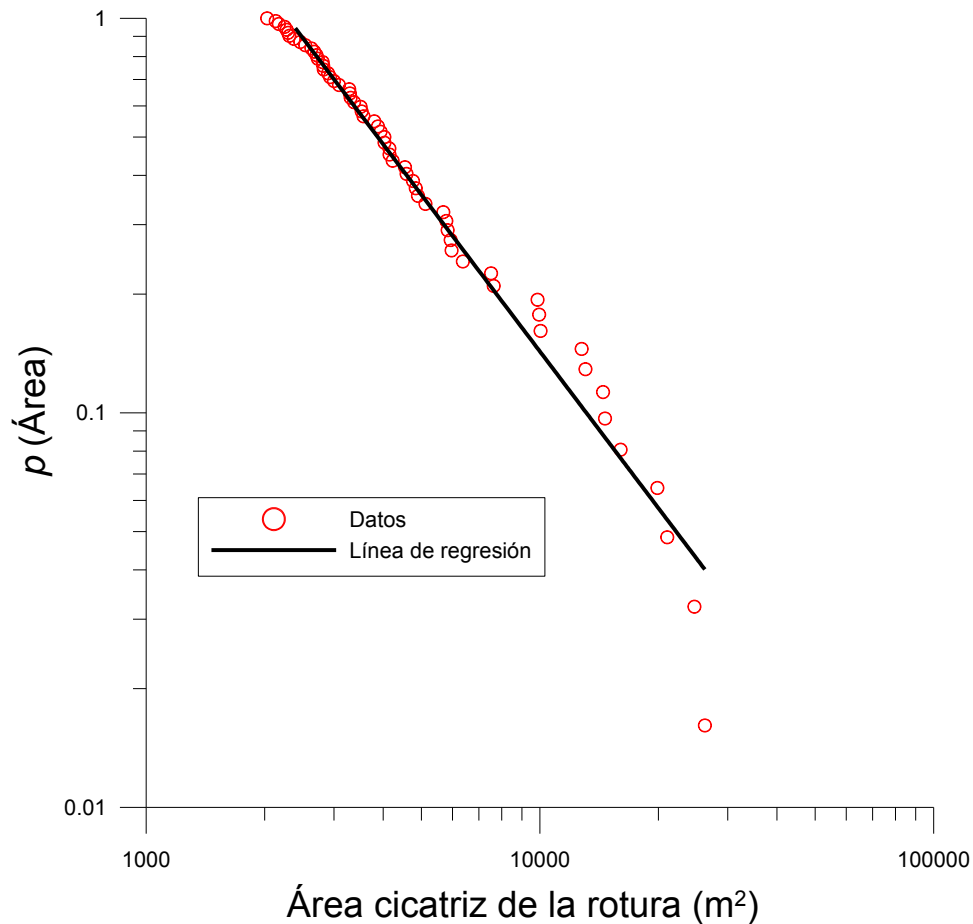


Figura 4.67 Gráfico RF para los datos con valor de área de rotura $\geq 2.000 \text{ m}^2$ – área Barruera-Vielha

Los estadísticos de la línea de regresión contenida en la Figura 4.67 (Ecuación 9), son:

$$\text{Ecuación 9: } \ln(\text{frecuencia}) = -1.32 * \ln(\text{área cicatriz}) + 10.21$$

con $R^2 = 0.97$ y por lo tanto $\mu = 2.32$.

Las 65 distribuciones de probabilidad (Anexo 15), implícitas en el método del estimador de máxima verosimilitud, indican que la distribución teórica Wakeby con parámetros $\alpha = 4786,4$; $\beta = 11,745$; $\gamma = 2486,2$; $\delta = 0,32081$ y $\xi = 0$, es la que mejor se ajusta a los datos (Anexo 16). El histograma y la respectiva PDF, consideran un ancho de intervalo de 3700 (Figura 4.68).

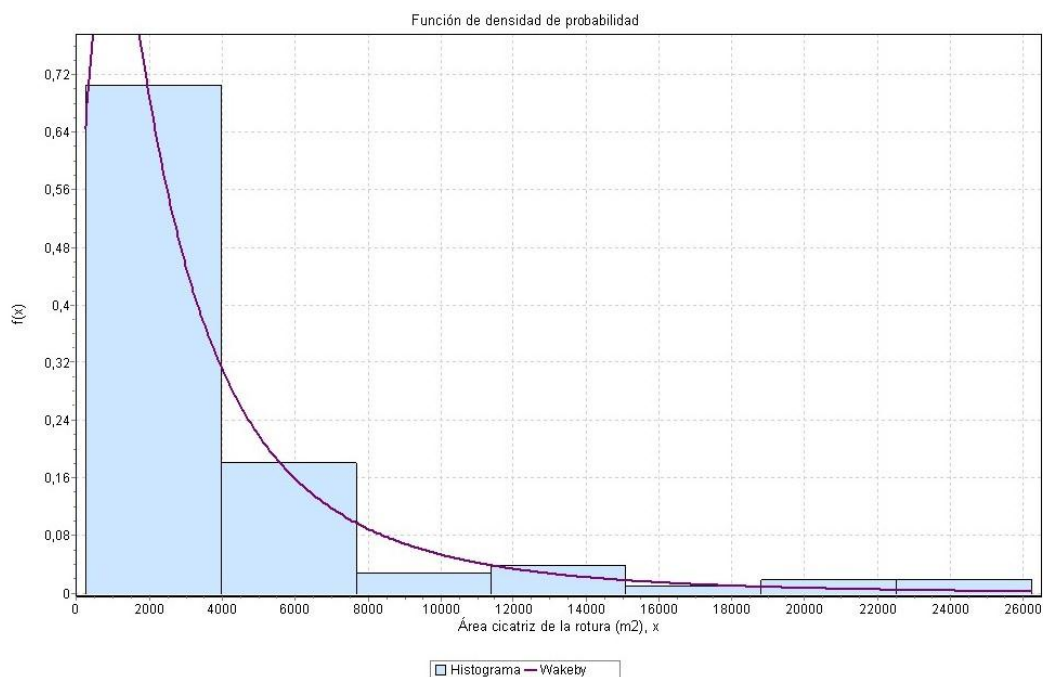


Figura 4.68 Histograma y PDF Wakeby para los datos de roturas de Barruera-Vielha

4.2.4.2 Campo de densidad de roturas

La superposición del inventario de roturas al mapa de cobertura del suelo resultó en el gráfico de la Figura 4.69. Algunas roturas que ocurren fuera del área jurisdiccional de Cataluña no se contabilizan en la Tabla 5.11, debido a la falta de información complementaria (cobertura vegetal).

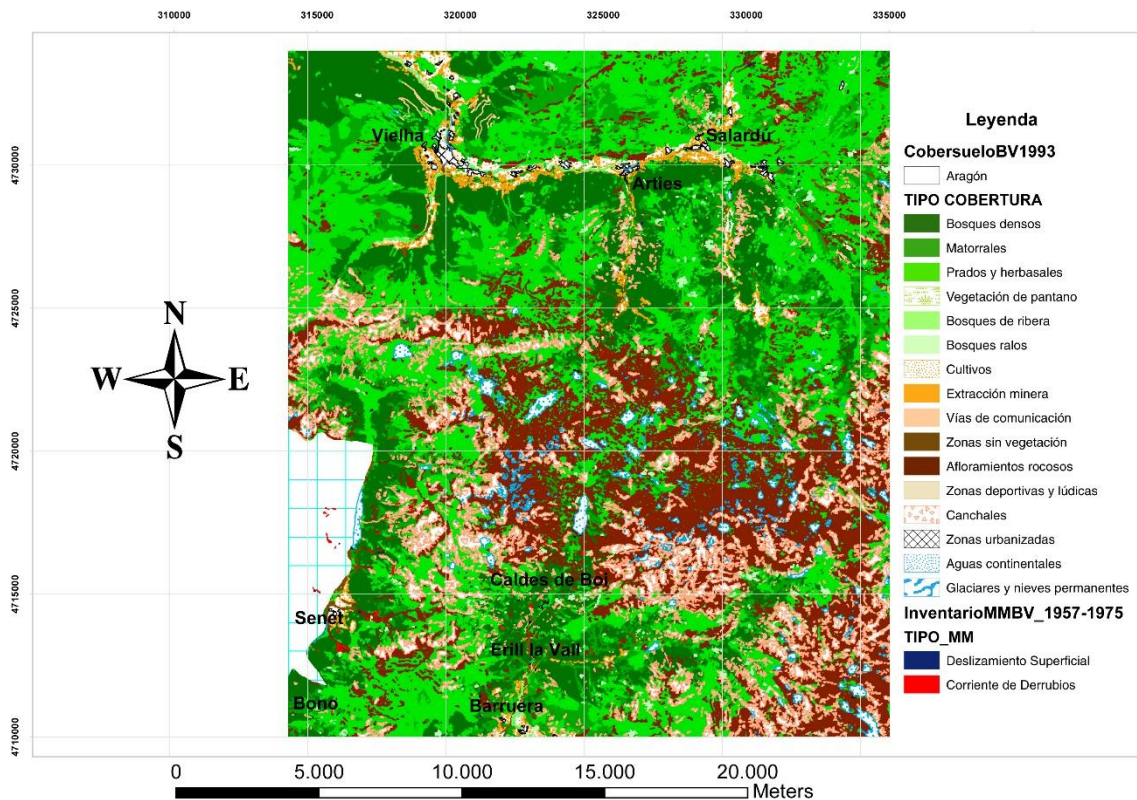


Figura 4.69 Mapa de cobertura del suelo e inventario de movimientos en masa.

Tabla 4.11 Datos de movimientos en masa por cobertura del suelo

FID	Código	Tipo Cobertura	Área cobertura (m ²)	No. MM	Área cicatriz MM (m ²)
0	b	Bosques densos (no de ribera)	130001000,0	8	21145,8
1	c	Cultivos	11803300,0	0	0,0
2	d	Zonas de extracción minera	121879,0	0	0,0
3	g	Vegetación de pantano	536466,0	0	0,0
4	h	Bosques de ribera	951146,0	0	0,0
5	k	Vías de comunicación	947014,0	2	5978,8
6	m	Matorrales	56665400,0	6	19072,0
7	n	Zonas erosionadas	3014970,0	5	7581,7
8	p	Prados y herbazales	155371000,0	12	38361,4
9	r	Roquedos	77101200,0	46	132025,3
10	s	Zonas deportivas-lúdicas	25814,8	0	0,0
11	t	Canchales	39684900,0	16	66143,7
12	u	Zonas urbanizadas	1706820,0	0	0,0
13	v	Bosques claros (no de ribera)	2193730,0	0	0,0
14	w	Aguas continentales	6941790,0	0	0,0
15	y	Glaciares y nieves permanentes	662222,0	0	0,0

El procedimiento de reasignación de MM a los respectivos polígonos de cobertura resulta en la Tabla 4.12 corregida. Se puede observar que luego de la normalización de frecuencia de MM por el tamaño de tipo de cobertura resulta en una mayor densidad en las áreas de bosques claros (0.46 MM/km²) y canchales (0.43 MM/km²).

Tabla 4.12 Datos de movimientos en masa corregidos por cobertura del suelo

FID	Código	Tipo Cobertura	Área cobertura (m ²)	No. MM	Área cicatriz MM (m ²)	Densidad MM/Km2 cobertura
0	b	Bosques densos (no de ribera)	130156929,0	25	98506,3	0,19
1	c	Cultivos	11803295,6	0	0,0	0,00
2	d	Zonas de extracción minera	121878,6	0	0,0	0,00
3	g	Vegetación de pantano	536466,2	0	0,0	0,00
4	h	Bosques de ribera	951145,8	0	0,0	0,00
5	k	Vías de comunicación	944621,9	0	0,0	0,00
6	m	Matorrales	56795514,6	21	55550,0	0,37
7	n	Zonas erosionadas	3000794,5	0	0,0	0,00
8	p	Prados y herbazales	155434371,0	31	67935,1	0,20
9	r	Roquedos	76762811,2	0	0,0	0,00
10	s	Zonas deportivas-lúdicas	25814,8	0	0,0	0,00
11	t	Canchales	39687715,9	17	66897,1	0,43
12	u	Zonas urbanizadas	1706821,6	0	0,0	0,00
13	v	Bosques claros (no de ribera)	2196522,0	1	1420,1	0,46
14	w	Aguas continentales	6941793,0	0	0,0	0,00
15	y	Glaciares y nieves permanentes	662221,7	0	0,0	0,00

De los datos de la Tabla 4.11 y Tabla 4.12 se nota como hecho destacable el número amplio de MM que ocurren en zonas de canchales, que por ser materiales rocosos constituidos por bloques clastosoportados presentan una baja propensión a sufrir desestabilizaciones generadas por lluvias, dada su alta permeabilidad que impide la acumulación de agua y la formación de niveles freáticos desestabilizantes. Estos materiales, tal vez sean en realidad materiales sueltos con matriz, producto de los materiales glaciares (Foto 4.10 y

Foto 4.11) que caracterizan esta región pirenaica, lo cual le daría explicación a las roturas presentes en ellos.

La zonificación en áreas con o sin formación superficial se presenta en el mapa de la Figura 4.70, donde se observa que la parte central del área (Macizo dels Encantats) y esquina SE, constituida por rocas graníticas (Figura 4.62), presenta una importante zona no cubierta por formaciones superficiales y por lo tanto condiciona la zonificación de la ocurrencia de MM.

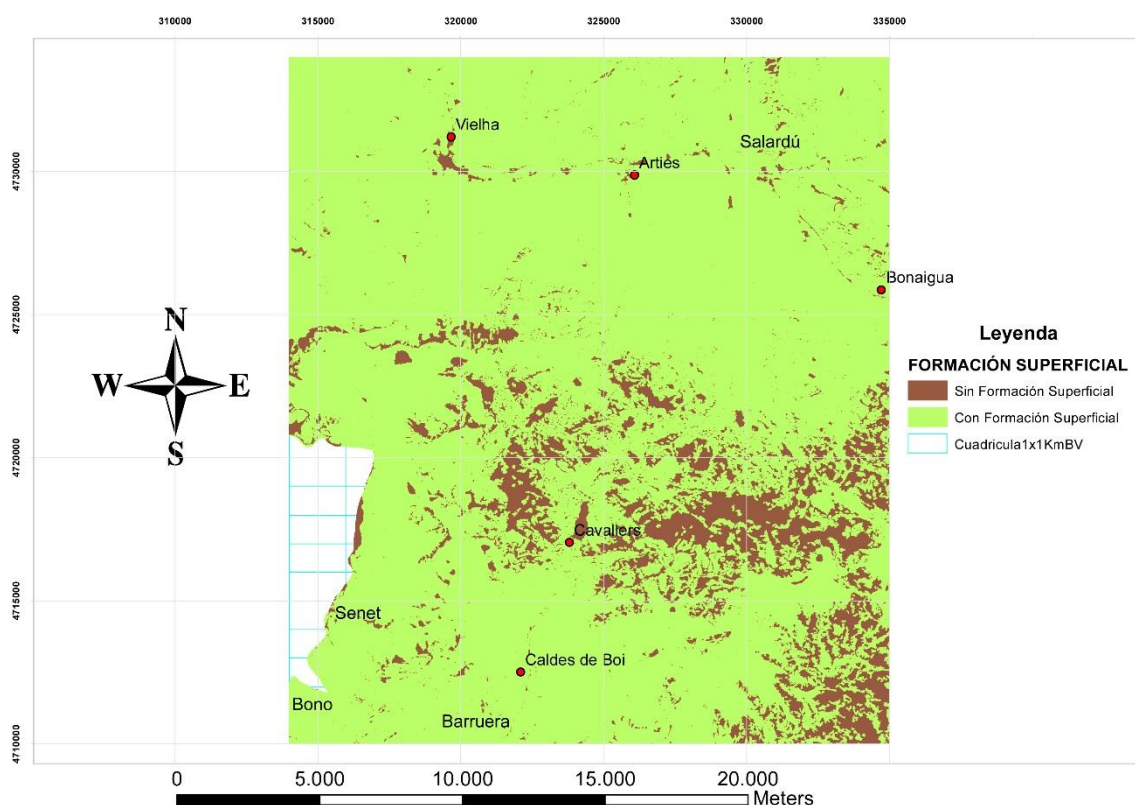


Figura 4.70 Mapa de zonas con y sin formación superficial

Para mapear la distribución espacial del valor de la pendiente de los polígonos de las roturas, se determinó el valor umbral $\theta = 14.7^\circ$, a partir del cual se presentaron los MM. Posteriormente se reclasificó el modelo digital de elevación de acuerdo a este valor umbral para construir la zonificación de pendientes de la Figura 4.71.

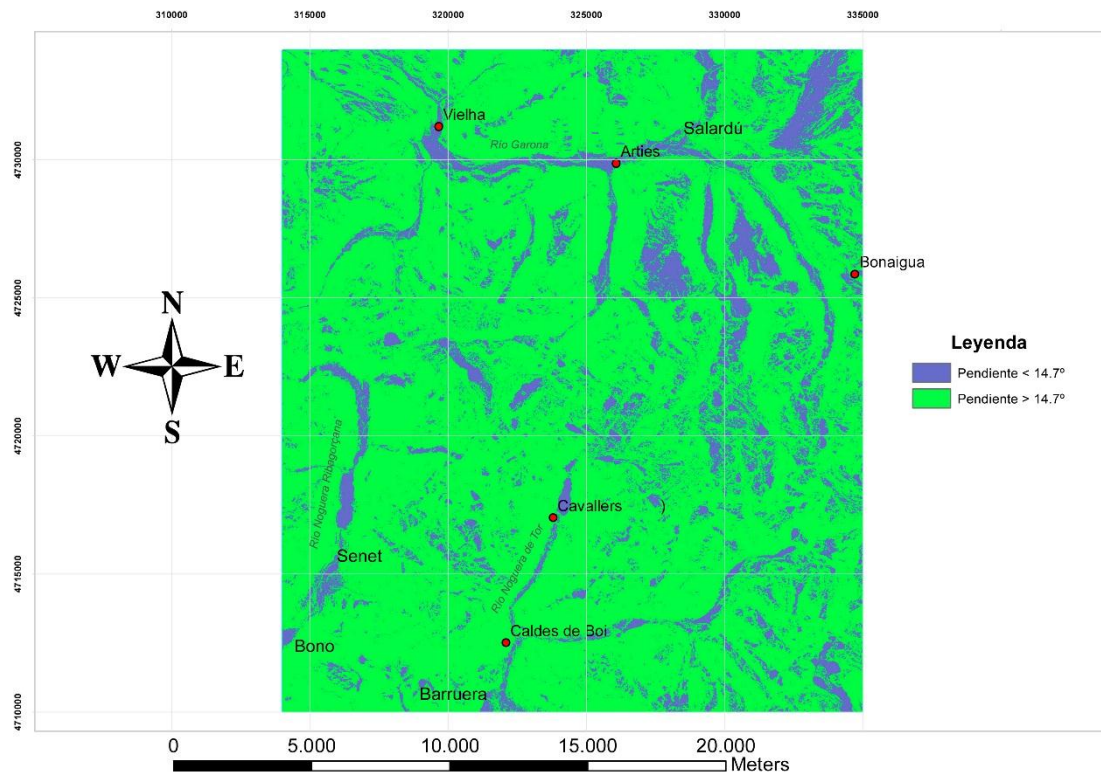


Figura 4.71 Mapa de zonas con pendiente mayor a 14.7° y menor a 14.7°

La combinación de los mapas de las Figura 4.70 y Figura 4.71, produce el mapa que muestra las áreas para la posible ocurrencia de MM (Figura 4.72). En este mapa se observa que en las partes planas no será posible la ocurrencia de MM, así haya presencia de formación superficial; mientras que el grado de censura de la presencia o no de la formación superficial es mucho más marcado conforme se observa en la Figura 4.70.

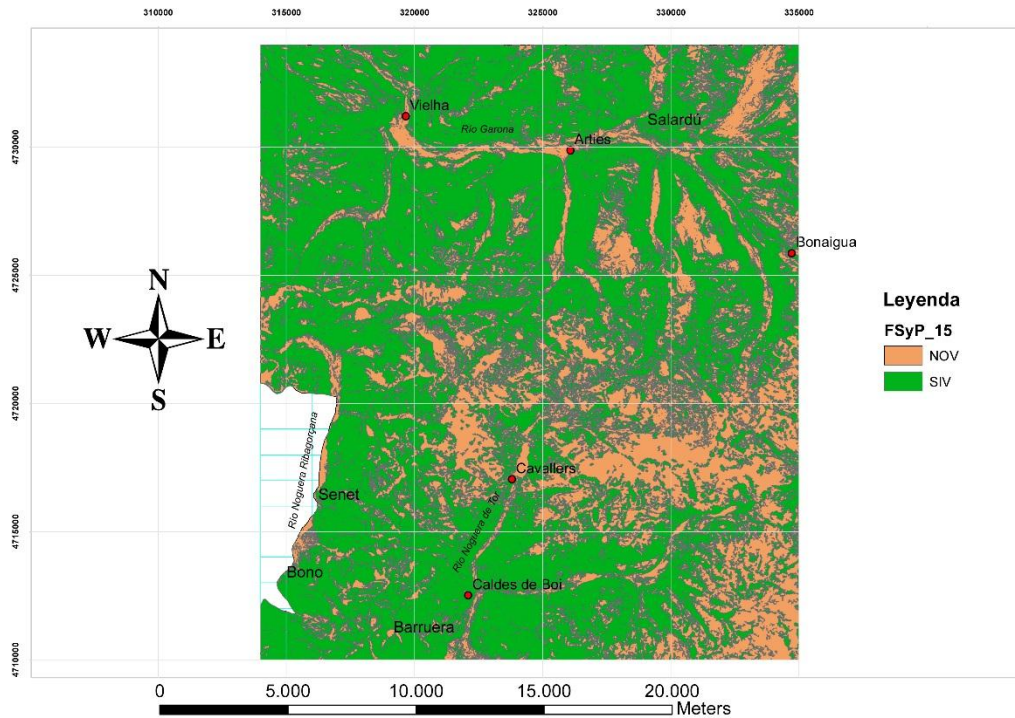


Figura 4.72 Mapa de zonas de posible ocurrencia de movimientos en masa. NOV: sin FS y pendiente menor a 14.7°, SIV: con FS y pendiente mayor a 14.7°

Este mapa (Figura 4.72) ya muestra el papel importante de las formaciones superficiales en la zonificación de MM. Donde dichas formaciones superficiales no se presentan, así los demás factores facilitadores (pendiente topográfica principalmente) y generadores (lluvias) se presenten, no ocurrirán roturas.

Posteriormente, alrededor de cada nodo de la cuadrícula de 1 km x 1 km, se calculó el número de MM por km² de acuerdo a la información de la Figura 4.72 y se aplicó el kriging para obtener el campo de densidad de roturas de la Figura 4.73.

Este resultado confirma la importancia de la existencia de formaciones superficiales en la zonificación de la ocurrencia de MM. De acuerdo a la Figura 4.70, las zonas de Bono-Senet y N de Salardú, donde ocurren las concentraciones de MM (Figura 4.73), son zonas de posible ocurrencia de MM (Figura 4.72).

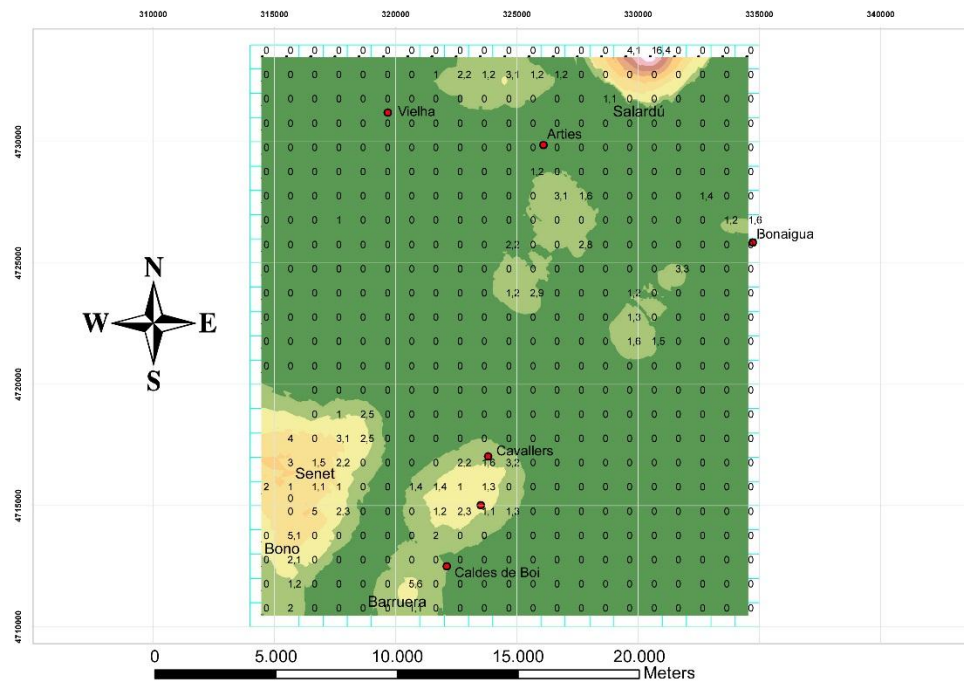


Figura 4.73 Campo de densidad de roturas del área Barruera-Vielha (el número dentro de cada cuadrícula, corresponde al número de movimientos en masa por km²)

Adicionalmente se construyó el mapa de área de rotura por km² cuyo resultado es la Figura 4.74, en la cual se puede observar una discriminación más clara de la concentración del tamaño de las roturas en el sector SW (entre Bono y Senet).

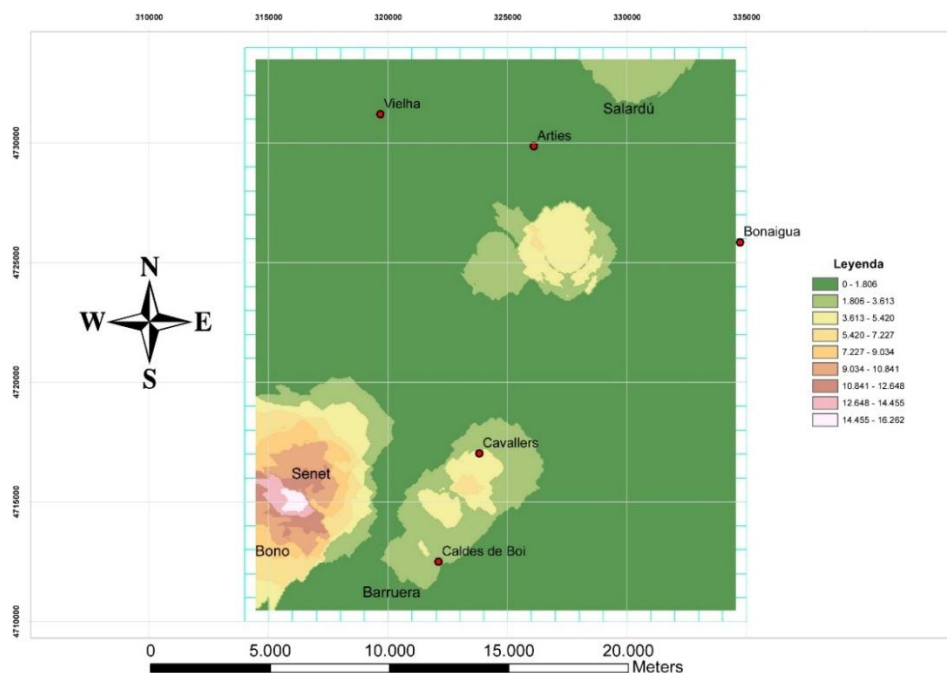


Figura 4.74 Campo de densidad de área de rotura/km²

El cálculo de múltiples distribuciones teóricas al campo de densidad de MM (Anexo 17) sugiere la función de tipo *Generalized Pareto* como de mejor ajuste (Anexo 18), con un valor $p = 0.66$ y parámetros $k=0,03503$, $\alpha = 4,0552$ y $\mu = 0,58057$, cumpliendo los criterios de las tres pruebas estadísticas para todo α . Se resalta que la distribución tipo Wakeby ocupa el segundo puesto cuando se usa la prueba Kolmogorov-Smirnov. En la Figura 4.75 se muestra el histograma y la PDF de la función *Generalized Pareto*, cuya expresión corresponde a la Ecuación 10.

Ecuación 10: $f(x) = \frac{1}{\sigma} \left(1 + k \frac{(x-\mu)}{\sigma} \right)^{-1-\frac{1}{k}}$ para $k \neq 0$; $f(x) = \frac{1}{\sigma} \exp \left(-\frac{(x-\mu)}{\sigma} \right)$ para $k = 0$

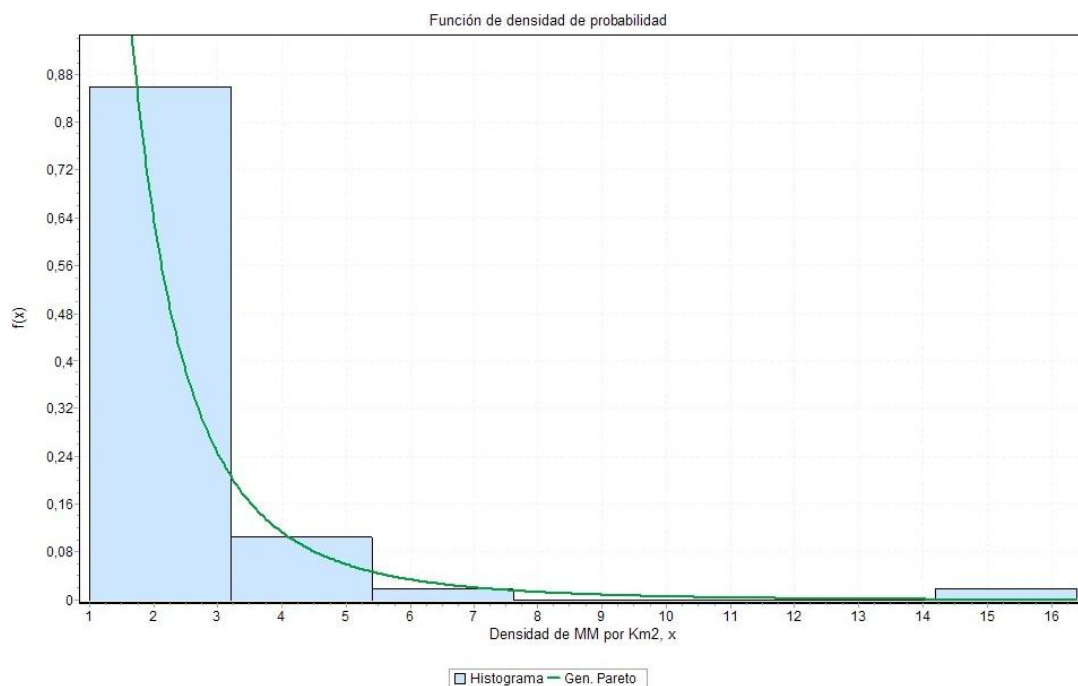


Figura 4.75 Histograma y PDF Generalized Pareto para el campo de densidad de roturas por km² del área Barruera-Vielha.

Se realizó el conteo de roturas por litología y se obtuvieron los resultados que se presentan en el Anexo 19. Se resalta que el 39% de roturas ocurren en formaciones superficiales de depósitos Cuaternarios, principalmente en

depósitos tipo Qgt (depósito glaciares o till) y Qve (conos de deyección) (Figura 4.76).

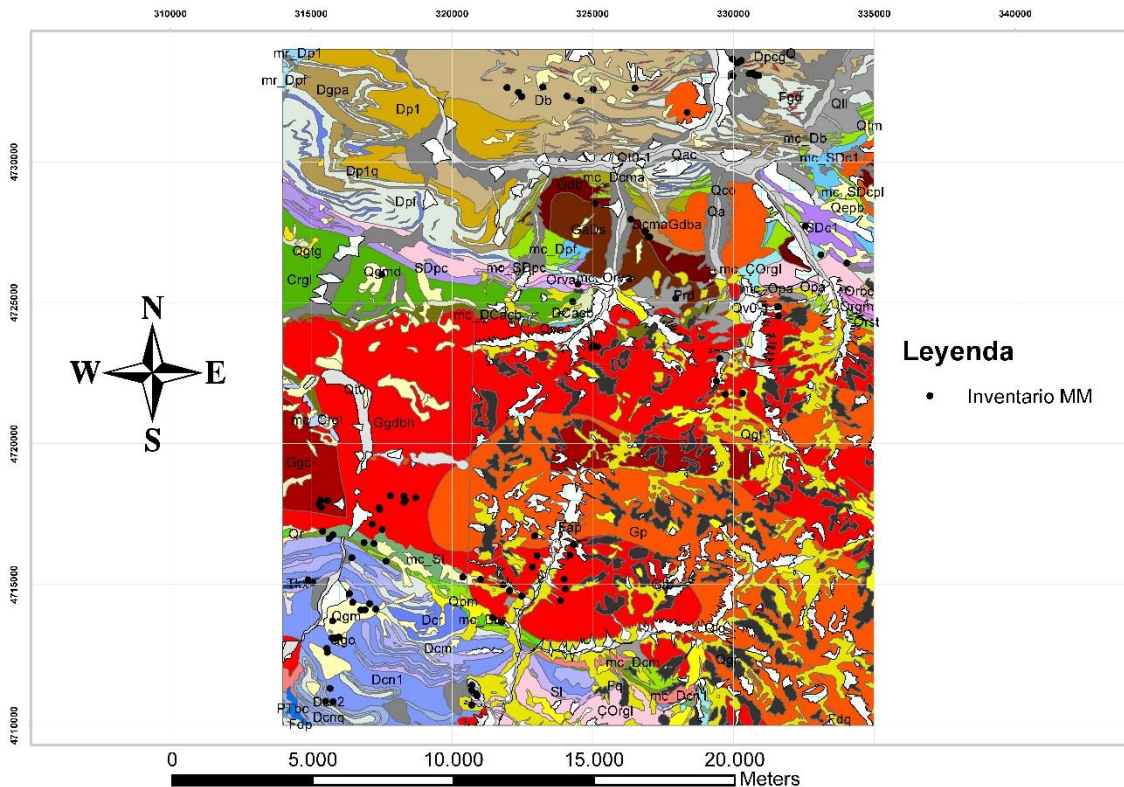


Figura 4.76 Mapa litológico e inventario de movimientos en masa de Barruera-Vielha. Convenciones geológicas como en la Figura 4.62.

De otra parte, teniendo en cuenta el valor umbral θ para MM, se reclasificaron las pendientes con intervalos de clase de 5° y el mapa resultante se integró con el de centroides de MM, para obtener el número de roturas por cada clase de pendiente. Los resultados se muestran en la Tabla 4.13.

Tabla 4.13 Relación pendiente topográfica y número de movimientos en masa

Pendiente ($^\circ$)	No. MM	Área Rotura (m^2/km^2)
0-5	2	20178,8
5-10	0	0,0
10-15	1	1379,2
15-20	2	15239,0
20-25	4	10134,3
25-30	8	41883,6
30-35	24	129239,9

35-40	34	88719,1
40-45	17	59725,4
45-50	10	53222,6
50-55	2	981,1
55-60	0	0,0
60-65	1	3086,8
65-70	0	0,0
70-75	0	0,0
75-80	0	0,0
80-85	0	0,0

De esta tabla hay que resaltar que cerca del 90% de las roturas, tanto en número de MM como en área de las roturas de los mismos, ocurren en zonas con pendientes topográficas que varían entre 25° y 50°.

4.2.4.3 Campo de lluvias de agosto de 1963

La recopilación de datos de precipitación del evento lluvioso resultó en la Tabla 4.14 y las hietógrafas correspondientes se muestran en la Figura 4.77. Las lluvias iniciaron efectivamente el 26 de julio y finalizaron el 3 de agosto, aunque en la estación Vielha se registró precipitación hasta el 4 de agosto. La precipitación pico diaria se presentó en la mayoría de estaciones durante los días 3 y 4 agosto (entre 45 y 65 mm) con máxima precipitación en la estación Vielha el 4 de agosto (68 mm). Los datos de AEMET (2010), no obstante, indican máxima precipitación el 2 de agosto en las estaciones Villanova (148,6 mm), Benasque (98 mm) y Seira (64 mm), el sector NE de Huesca – Aragón (Tabla 4.14).

Tabla 4.14 Lluvias de Julio 26 al 3 de agosto de 1963 en el NW de Cataluña y NE de Aragón (AEMET, 2010)

Código Estación	Nombre Estación	Altitud (mnm)	X_UTM	Y_UTM	P26/07/1963 (mm)	P27/07/1963 (mm)	P28/07/1963 (mm)	P29/07/1963 (mm)	P30/07/1963 (mm)	P31/07/1963 (mm)	P1/08/1963 (mm)	P2/08/1963 (mm)	P3/08/1963 (mm)	PTotal (mm)
9656	BONAIGUA	2263	334729	4725856	2	0	11	10	4	0	8	14	45	94
9657	ESTERRI D'ANEU	940	346257	4720869	0	15	2	0	0	17,2	11,3	5,7	1,9	53,1
9669	LLADORRE (TAVASCAN PESCA)	1100	356676	4722127	0	0	9,2	0	0	0	0	0	0	9,2
9675	LLAVORSI	850	353067	4706618	0	6	3	5	22	0	13	7	12	68
9683	ESTAC (MENCUY)	1256	338096	4694295	0	3	0	0	1	7	17	7,5	10,5	46
9684	ESCOS	790	340471	4693069	4,5	0	0	0	19	22	12	0	8	65,5
9688	ESTANY-GENTO (LLAC)	2120	335746	4708178	6	10	3	7	7	9	30	13	5	90
9689	CABDELLA	1270	334835	4703477	20	19	2	11	9	4	28	4	6	103
9690	ELS MOLINS (MONROS)	1020	333103	4696944	0	1	0	7	18	12	17	1	9	65
9694	XERALLÓ	974	324438	4692588	0,5	0,5	9,5	28,5	5	0	11	0	8	63
9695	SENTERADA	660	329918	4687298	2	5	3	7	8	14	6	0	3	48
9734	VILALLER (SENET)	1093	313783	4712743	1	10	6	5	14	0	1	47	0	84
9735	BONO	1050	312166	4708650	0	41	2	5	10,5	0	5	52,5	0	116
9736	VILALLER	960	311659	4703415	2	30	11	10	4	8	24,5	14	45	148,5
9738	CALDAS DE BOI	1280	322108	4712494	0	7	7,5	1,5	7	0	1	33	53	110
9745	EL PONT DE SUERT	845	313782	4697309	0	1,3	18	6,5	8,5	0	14	64	0	112,3
9749	ESCALES (EMBALSE)	717	314245	4688005	0	0	43	0	2	0	17	12	2	76
9991	VIELHA	940	319674	4731202	1	1,5	0	8	4	3	9,5	0,4	7	34,4
9995	LES (CLEDES)	760	313596	4744699	0	0	2	7	2	0	14	30	2	57

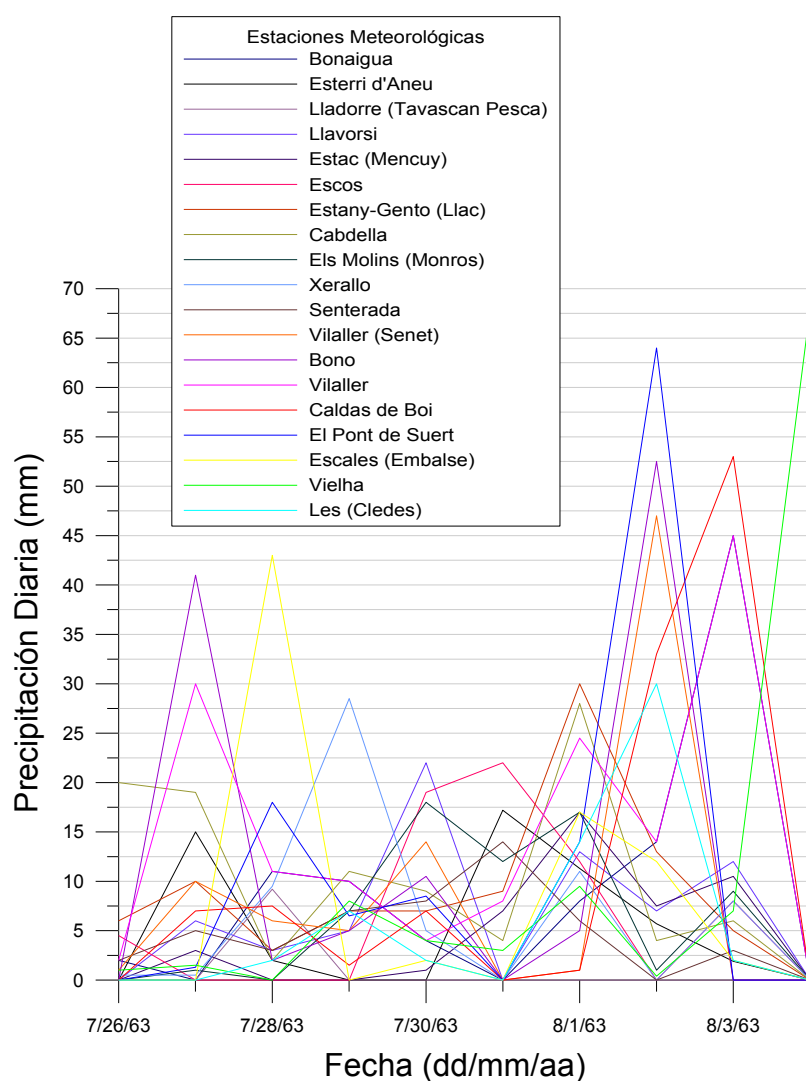


Figura 4.77 Hietógrafas de las lluvias registradas en las estaciones meteorológicas del área Barruera-Vielha y alrededores

El kriging de los datos de precipitación resulta en el mapa de la Figura 4.78. El elipsoide de máxima precipitación ocurre al SE del Macizo de la Maladeta

(sector aragonés de Villanova), mientras que los mínimos ocurren cerca de Vielha (34,4 mm), Lladorre (9,2 mm) y Senterada (48 mm). En el área de Barreuera – Vielha la precipitación aumenta hacia el SW con valores cercanos a 116 mm (Bono).

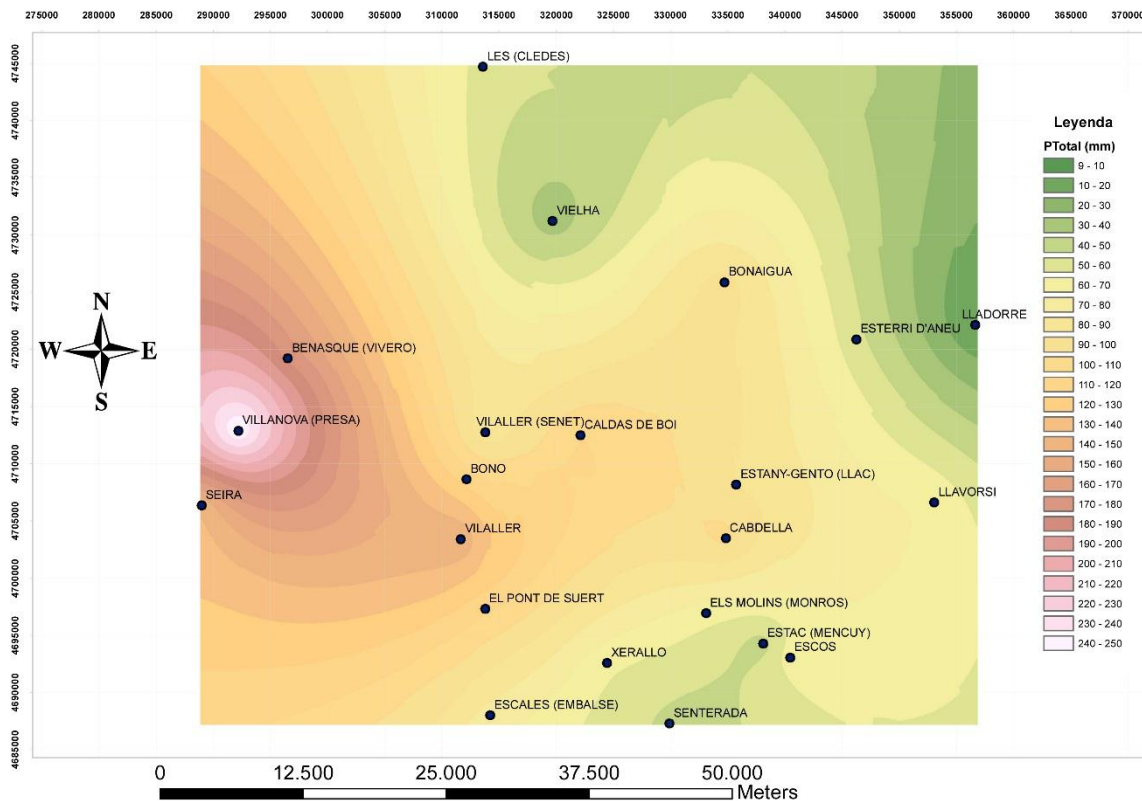


Figura 4.78 Campo de lluvias mediante kriging de los datos de las estaciones meteorológicas del NW de Cataluña y NE de Aragón

El campo de lluvias se reconstruyó mediante la incorporación de información secundaria como altura, pendiente, orientación y curvatura del terreno obtenida a partir del MDE, cuyos mapas se muestran en la Figura 4.79, Figura 4.80, Figura 4.81 y Figura 4.82.

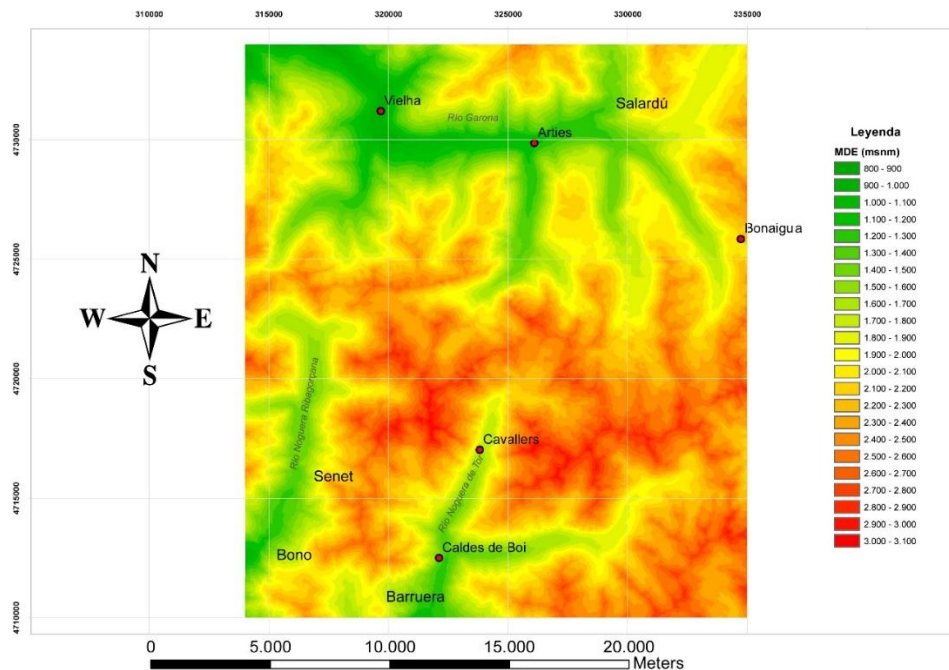


Figura 4.79 MDE - Altura topográfica

En este mapa se observa que las mayores alturas topográficas coinciden con la presencia de rocas cristalinas (N de Senet y E de Cavallers) y las bajas alturas topográficas se circunscriben a los valles fluviales de los ríos Noguera Ribagorçana, Noguera de Tor y Garona.

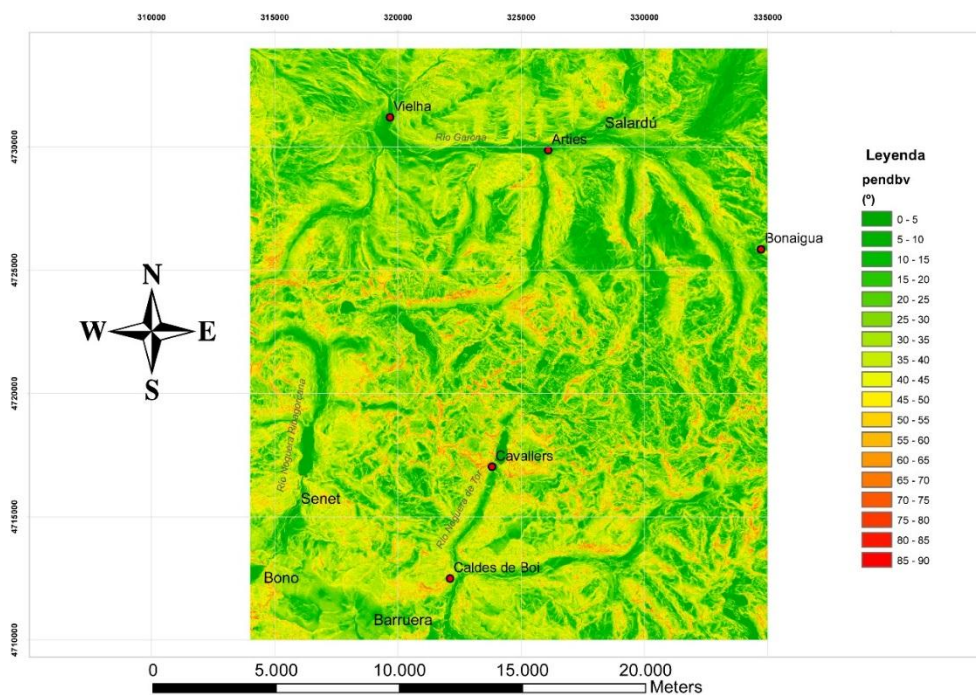


Figura 4.80 Mapa de pendientes

En este mapa se puede observar que las pendientes altas se concentran en las cimas de los macizos montañosos, especialmente en el macizo del Encantats (N de Cavallers), cuyo substrato rocoso está conformado por rocas ígneas graníticas.

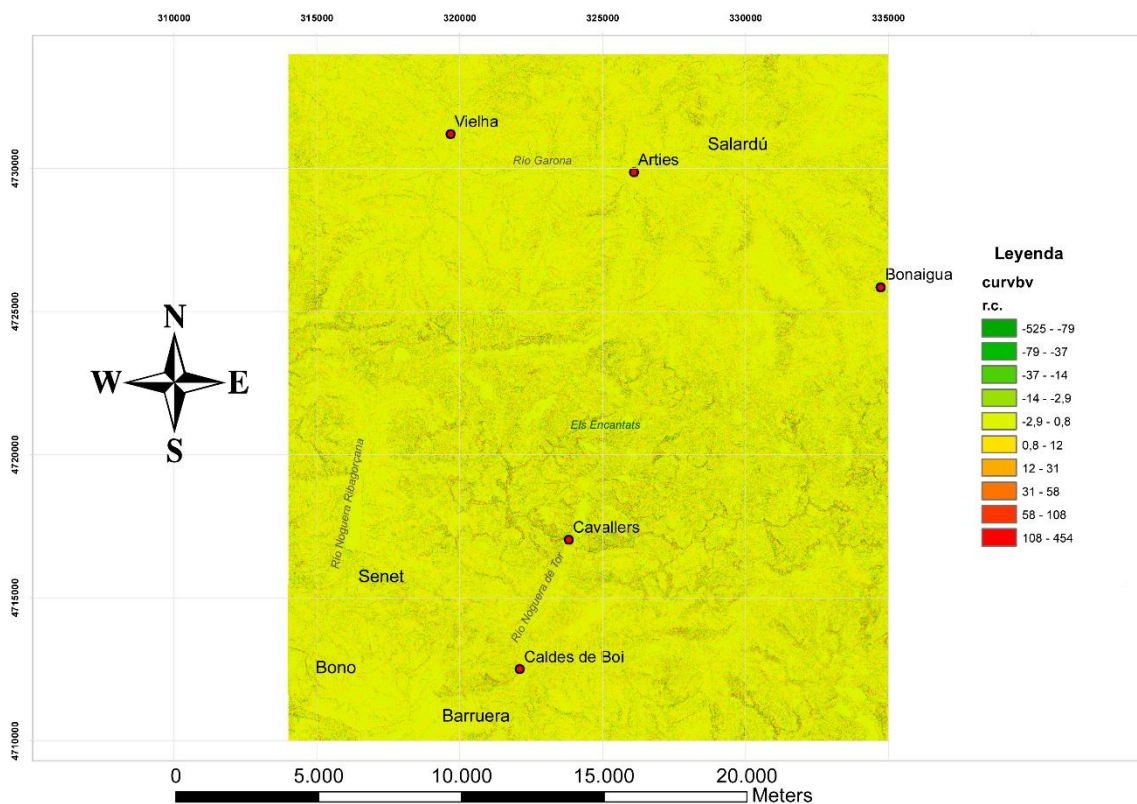


Figura 4.81 Mapa de curvatura

Los valores altos de curvatura convexa (colores oscuros) se encuentran hacia las partes altas del macizo de Encantats, mientras que los de curvatura cóncava se encuentran hacia los valles fluviales.

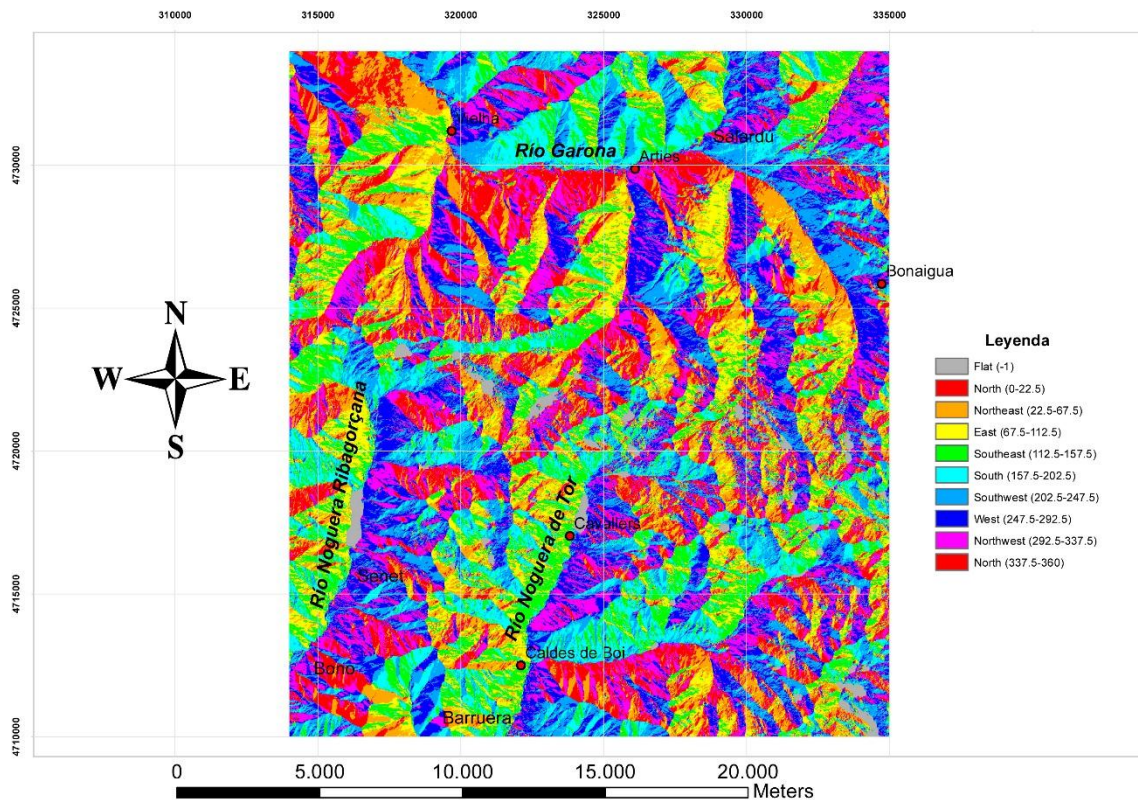


Figura 4.82 Mapa de orientación promedio

En este mapa se observa que las laderas se orientan principalmente hacia el N y S en el valle del río Garona, mientras que en la Noguera Ribagorçana y Noguera de Tor, se orientan en sentido E y W.

Posteriormente se calcularon las distancias al centro de la tormenta desde la estación de Villanova hasta el centroide de cada cuadrícula y el resultado se presenta en la Figura 4.83.

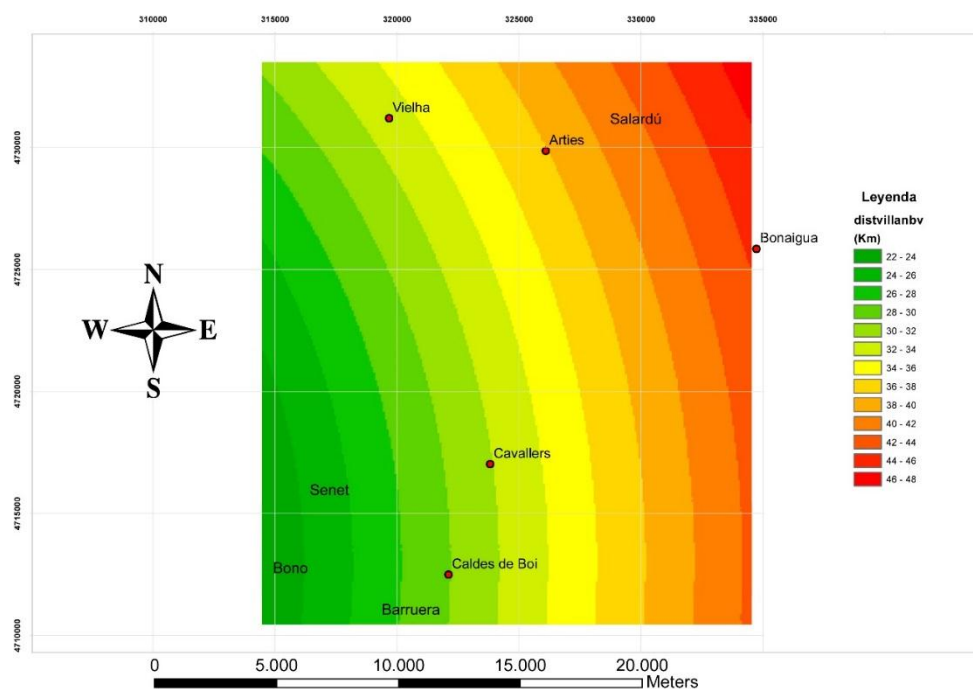


Figura 4.83 Mapa de distancia a la estación de Villanova

A continuación se realizó un análisis de regresión lineal múltiple entre las variables secundarias independientes y la variable dependiente (precipitación estimada), para establecer la contribución de cada una de ellas (Tabla 4.15).

Tabla 4.15 Valor de las variables secundarias para cada estación meteorológica

Nombre Estación	X UTM	Y UTM	Ptotal (mm)	Altitud (msnm)	Pendpromestnwcabuffer200m (°)	Curvpromestnwcabuffer25m	Asppromestnwcab	Distancia a Villanova (Pres), Km
BONAIGUA	334728.63	4725856.42	94	2263	26.7	-0.1	205.8	44.5
ESTERRI D'ANEU	346257.12	4720868.96	53.1	940	1.3	0.0	196.6	54.7
LLADORRE (TAVASCAN PESCA)	356675.67	4722126.77	9.2	1100	31.8	2.1	109.0	65.1
LLAVORSI	353066.99	4706617.54	68	850	19.0	-0.5	355.8	61.2
ESTAC (MENCUY)	338096.13	4694295.45	46	1256	29.5	0.2	315.2	49.5
ESCOS	340470.64	4693069.75	65.5	790	18.6	2.1	42.1	52.2
ESTANY-SENTO (LLAC)	335746.06	4708177.69	90	2120	29.8	-1.7	128.7	43.8
CABDELLA	334835.45	4703477.05	103	1270	22.1	-2.7	108.8	43.7
ELS MOLINS (MONROS)	333102.54	4696943.9	65	1020	23.9	0.8	88.9	43.9
XERALLÓ	324438.23	4692588.17	63	974	26.6	0.4	89.8	38.1
SENTERADA	329917.63	4687298.42	48	660	20.1	0.2	123.1	45.6
VILALLER (SENET)	313783.04	4712743.26	84	1093	12.8	-0.4	164.9	21.6
BONO	312166.04	4708650.45	116	1050	31.6	-0.1	137.4	20.4
VILALLER	311659.12	4703415.44	148.5	960	22.1	-0.7	109.4	21.7
CALDES DE BOI	322108.08	4712494.22	110	1280	40.5	-0.7	83.3	29.9
EL PONT DE SUERT	313782.1	4697308.66	112.3	845	19.7	0.2	64.0	26.6
ESCALES (EMBALSE)	314244.52	4688005.15	76	717	33.5	0.4	84.7	33.3
VIELHA	319673.55	4731201.71	34.4	940	8.3	0.0	300.1	33.0
LES (CLEDES)	313595.81	4744699.13	57	760	30.6	0.7	41.3	38.3

De manera práctica el procesamiento de estos datos se llevó a cabo con el programa SPSS® (Golden Software, 2010), resultando en el modelo de regresión lineal múltiple representado por la Ecuación 11, el que se empleó para determinar el modelo digital de precipitación del evento lluvioso que aparece en la Figura 4.84.

Ecuación 11: $P_{\text{Total}} \text{ (mm)} = 124,09 + 0,01(\text{altitud}) + 0,17(\text{pendiente}) - 12,26(\text{curvatura}) - 0,08(\text{orientación}) - 1,26(\text{distancia})$

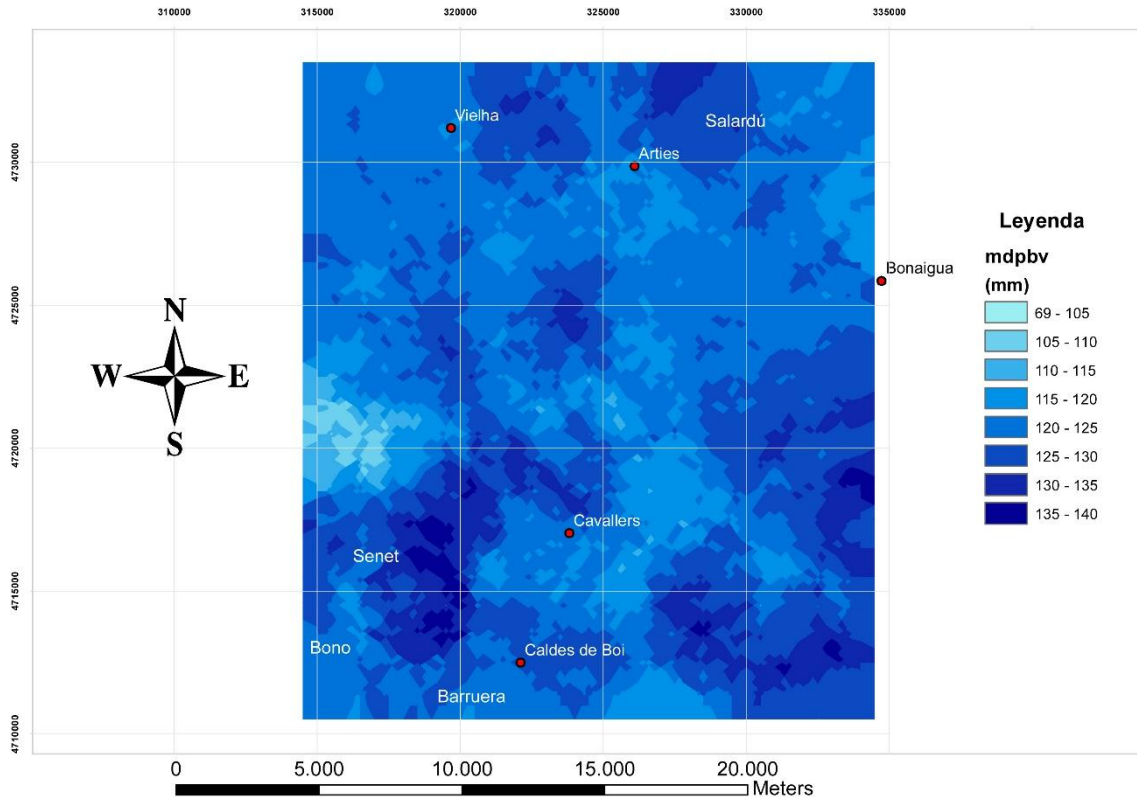


Figura 4.84 Mapa digital de precipitación del área Barruera – Vielha

En este mapa digital de precipitación se observa que los mayores valores de lluvia se presentan entre Barruera-Bono-Senet y al N de Vielha-Arties-Salardú. Posteriormente se calculó el valor de precipitación promedio por km² y se aplicó el kriging para obtener el mapa de la Figura 4.85.

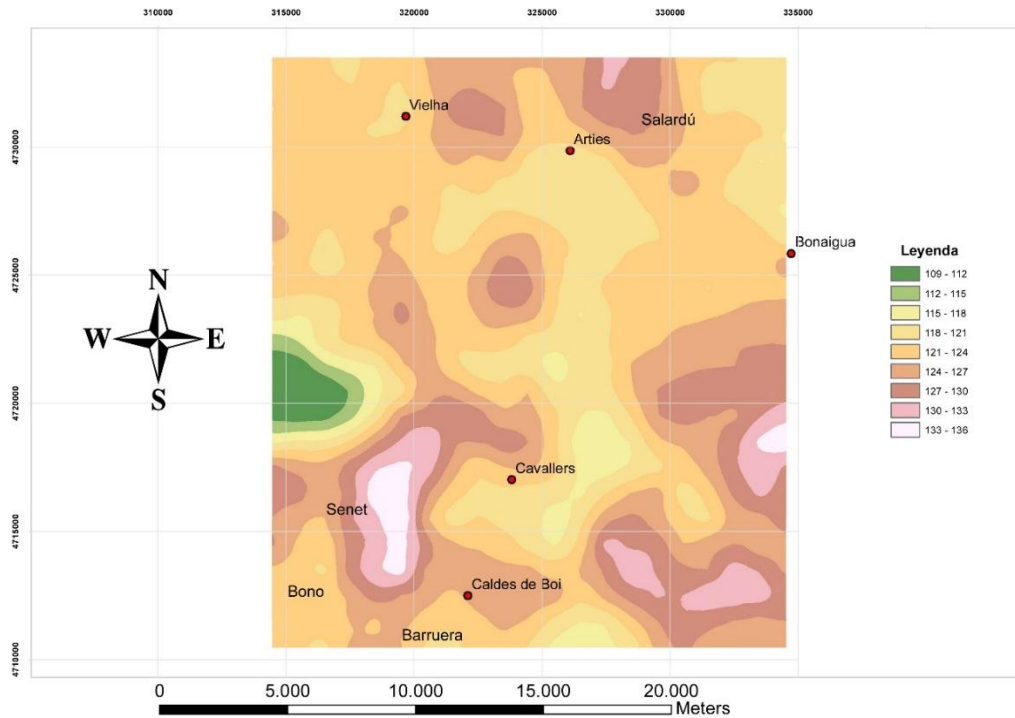


Figura 4.85 Mapa de precipitación promedio por km²

El análisis estadístico de los datos de precipitación promedio por km², muestra un rango de lluvias entre 69 mm y 140 mm, con un promedio de 124,1 mm. La aplicación del algoritmo de Sturges resulta en una división de 10 intervalos con una amplitud de 3 mm. La aplicación de las 65 distribuciones teóricas (Anexo 20) establece que la función PDF de mejor ajuste a los datos es la Wakeby (Anexo 21) con $p = 0.91$ con parámetros: $\alpha=148,47$; $\beta=18,066$; $\gamma=5,6707$; $\delta=-0,31548$ $\xi=111,95$. En la Figura 4.86 se muestra el histograma y la correspondiente PDF, donde se observa una precipitación distribuida de una manera cuasi-uniforme en todo el rango con la mayor concentración de valores en el intervalo central de 122 mm -125 mm.

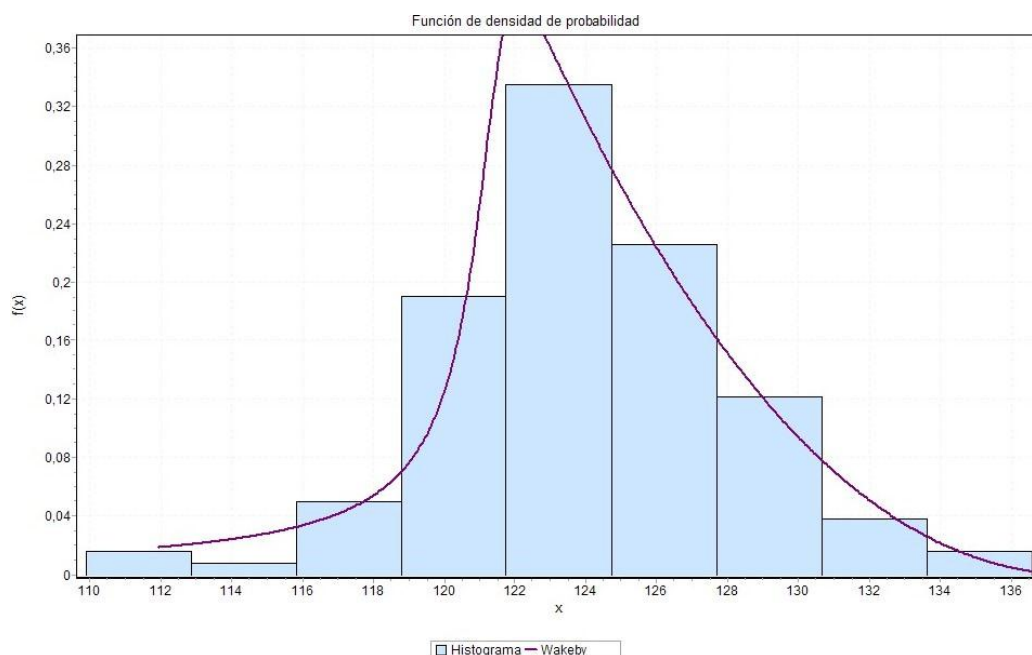


Figura 4.86 Histograma y PDF Wakeby para el campo de lluvias por km².

La combinación de los datos de densidad de roturas (Figura 4.73) y el campo de lluvias (Figura 4.85) permite la construcción de los resultados que aparecen en la Figura 4.87 y la base de datos de la Tabla 4.16. El análisis por medio de regresión lineal simple o correlación bivariada (Visauta, 2007), bajo el presunto de que sin lluvias no hay MM, se muestra en la Figura 4.88, cuya función está representada por la Ecuación 12. Teniendo en cuenta que el valor umbral de lluvia detonante es el valor a partir del cual se empiezan a generar roturas, es necesaria la inclusión de una constante con valor negativo (ε) en la Ecuación 12.

Ecuación 12: Densidad de roturas por km² = - ε + 0.018 * Precipitación promedio por km²

con un coeficiente de determinación $R^2 = 0.52$, lo cual sugiere una relación positiva incipiente entre las variables.

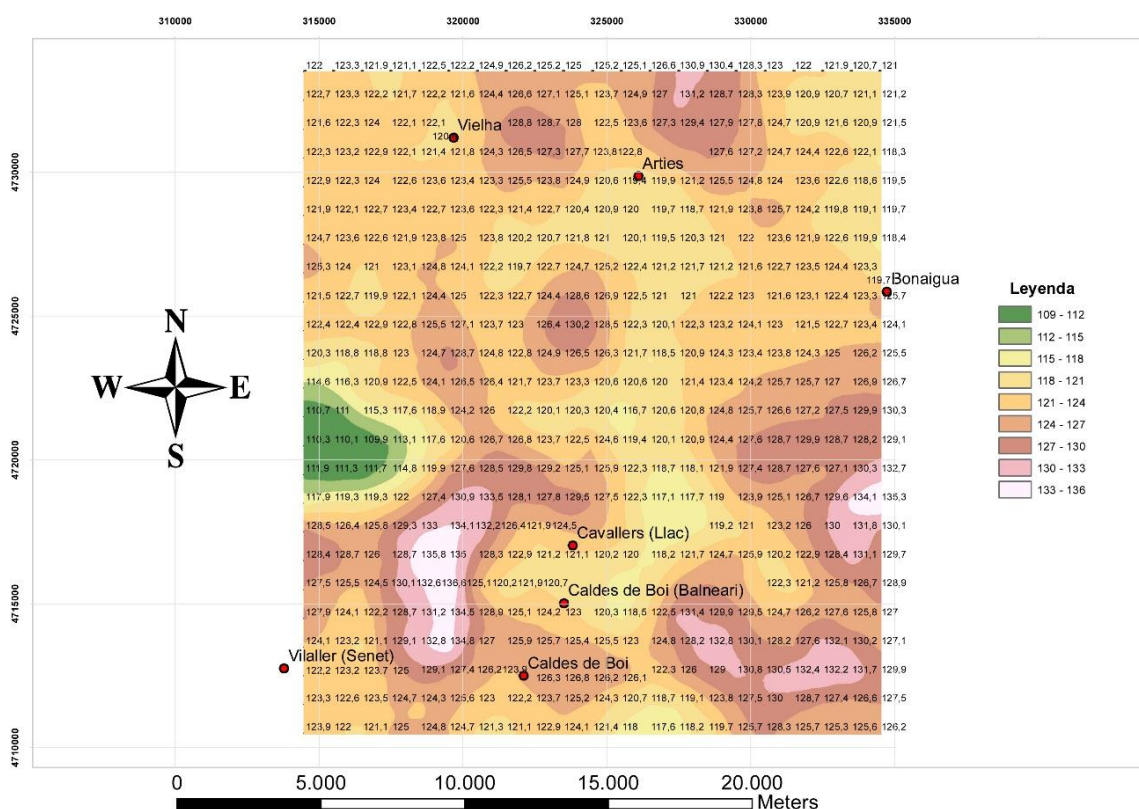


Figura 4.87 Campo de precipitación promedio por km^2 del área Barruera-Vielha (el número dentro de cada cuadrícula, corresponde a la precipitación promedio en dicha cuadrícula de 1 km x1 km)

Tabla 4.16 Base de datos de la relación entre el campo densidad de roturas por km^2 , el campo de precipitación promedio por km^2 y la pendiente

FID	X_UTM_mE	Y_UTM_mN	No. MM	Área Rotura (m2)	Densidad MM/km2	Área Rotura (m2)/km2	Pprom (mm)	Pendiente (°)
1	315500	4710500	2	3863	2,0	3945	122	43
6	320500	4710500	1	2809	1,1	3009	121	22
22	315500	4711500	1	2134	1,2	2597	123	26
27	320500	4711500	5	11603	5,6	13103	123	31
43	315500	4712500	2	3434	2,1	3647	123	31
64	315500	4713500	4	51329	5,1	65794	123	27
70	321500	4713500	2	10645	2,0	10819	126	38
85	316500	4714500	4	12419	5,0	15666	122	34
86	317500	4714500	2	23752	2,3	27029	129	41
90	321500	4714500	1	1596	1,2	1836	125	27
91	322500	4714500	2	17628	2,3	20508	124	35
92	323500	4714500	1	796	1,1	850	123	44
93	324500	4714500	1	875	1,3	1146	120	22
104	314500	4715500	2	4477	2,0	4477	127	38
106	315500	4715500	1	5685	1,0	5685	125	38
107	316500	4715500	1	5832	1,1	6514	124	33
108	317500	4715500	1	26234	1,0	26525	130	42

111	320500	4715500	1	1485	1,4	2060	125	22
112	321500	4715500	1	1439	1,4	2014	120	29
113	322500	4715500	1	342	1,0	356	122	30
114	323500	4715500	1	3565	1,3	4471	121	20
126	315500	4716500	3	24277	3,0	24277	129	40
127	316500	4716500	1	9863	1,5	14460	126	33
128	317500	4716500	2	9150	2,2	10083	129	24
133	322500	4716500	1	3506	2,2	7629	121	26
134	323500	4716500	1	1335	1,6	2099	121	38
135	324500	4716500	2	18004	3,2	28466	120	38
146	315500	4717500	4	15032	4,0	15032	126	35
148	317500	4717500	3	9853	3,1	10161	129	37
149	318500	4717500	2	6424	2,5	7889	133	28
167	317500	4718500	1	7631	1,0	7824	122	36
168	318500	4718500	2	13304	2,5	16834	127	40
240	329500	4721500	1	2897	1,6	4699	126	23
241	330500	4721500	1	1398	1,5	2124	127	20
261	329500	4722500	1	3795	1,3	4984	124	24
277	324500	4723500	1	3087	1,2	3664	126	45
278	325500	4723500	2	3101	2,9	4421	122	38
282	329500	4723500	1	3374	1,2	4103	123	28
305	331500	4724500	3	5310	3,3	5876	122	45
319	324500	4725500	2	17949	2,2	19759	127	37
322	327500	4725500	1	14467	2,8	41156	121	11
333	317500	4726500	1	763	1,0	783	123	34
349	333500	4726500	1	3278	1,2	3997	123	32
350	334500	4726500	1	4762	1,6	7657	120	22
363	326500	4727500	3	8351	3,1	8682	120	41
364	327500	4727500	1	1729	1,6	2839	120	15
369	332500	4727500	1	4146	1,4	5689	123	25
383	325500	4728500	1	2672	1,2	3131	120	38
449	328500	4731500	1	296	1,1	320	128	39
463	321500	4732500	1	2930	1,0	2987	127	35
464	322500	4732500	2	3459	2,2	3764	127	37
465	323500	4732500	1	2310	1,2	2806	125	29
466	324500	4732500	3	2189	3,1	2293	124	38
467	325500	4732500	1	1890	1,2	2298	125	25
468	326500	4732500	1	772	1,2	904	127	29
492	329500	4733500	2	1221	4,1	2526	128	11
493	330500	4733500	12	17323	16,4	23623	123	32

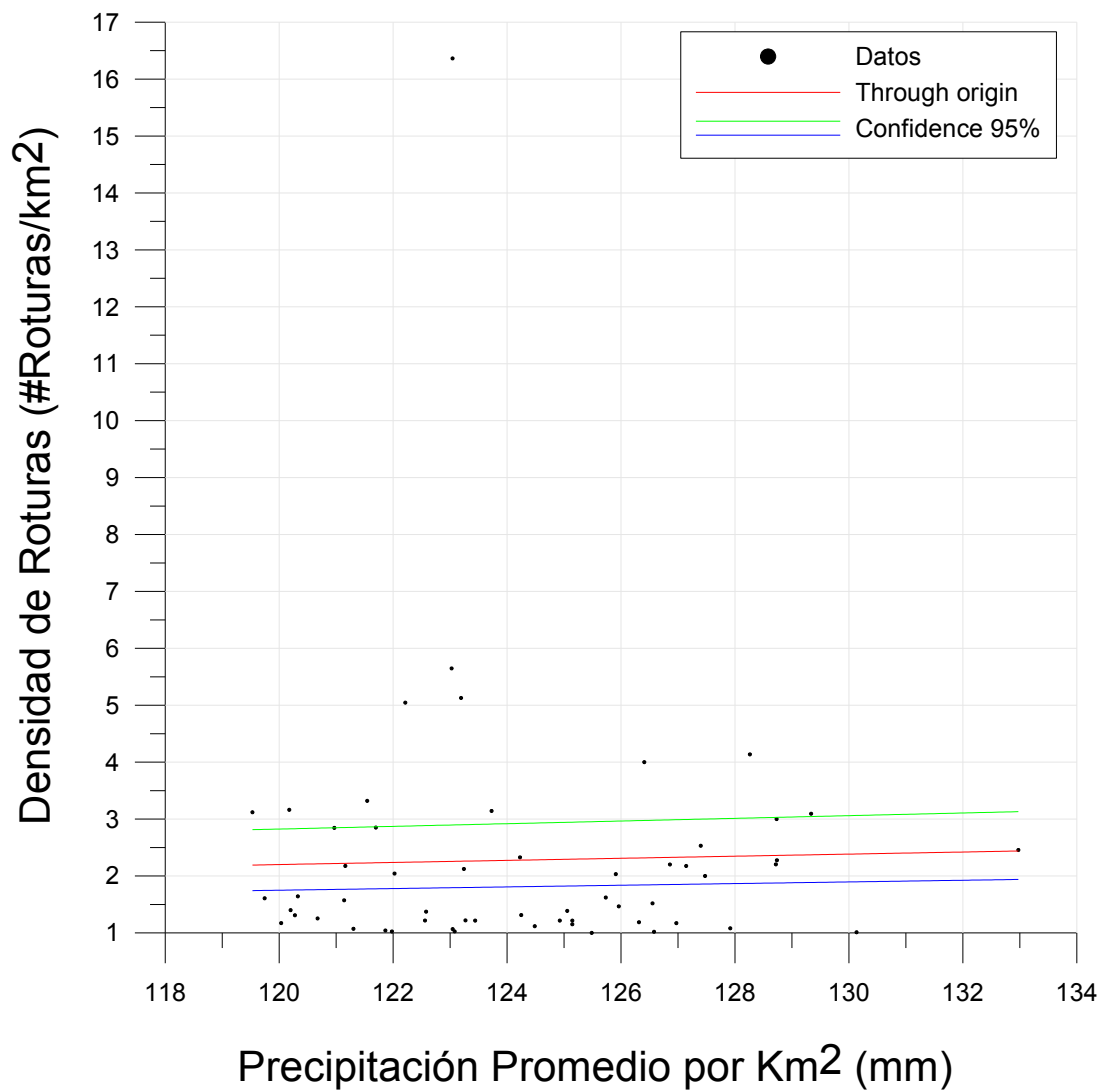


Figura 4.88 Relación campo de densidad de roturas por km² y precipitación promedio por km²

4.2.5 Discusión

4.2.5.1 Discusión de resultados

Se reconstruyó la distribución espacial de las roturas ocurridas como consecuencia de las lluvias de agosto de 1963 y se obtuvo la distribución espacial de las lluvias. En este caso el tiempo de ocurrencia del evento

posibilitó la obtención de fotografías aéreas previas y posteriores al evento lluvioso, resultando en una depuración del inventario de MM con consecuente disminución de 207 MM a 105 MM.

Contrario a lo esperado de acuerdo a la época del año en que se presentó el evento lluvioso de Agosto 1963 no correspondió a una típica tormenta de verano (lluvias intensas de corta duración), sino a una lluvia intensa y generalizada en una extensa región: NW de Cataluña y NE de Aragón, y procedente de una perturbación del anticiclón de las Azores por el avance de un frente frío inusual para la época del año.

El procedimiento usual que involucró estadísticas preliminares y detalladas aplicadas al inventario de MM, indica que en el caso de Barruera-Vielha si es posible diferenciar entre FD y DS (Figura 4.63), revelándose un comportamiento variable tanto para roturas de tamaños pequeños como para la cola de las distribuciones, aunque dada la naturaleza general del estudio se analizaron ambos tipos de MM en conjunto. La aplicación del método estadístico EMV indicó que en este caso las PDF de tipo Wakeby, Generalized Pareto y Wakeby explican convincentemente los datos del inventario (Figura 4.68), campo de densidad de roturas (Figura 4.75) y precipitación promedio (Figura 4.86), respectivamente. Nuevamente indicando que una distribución tipo Wakeby persistentemente se puede asociar cuantitativamente a los datos.

La máxima concentración de roturas al SW del área de estudio (Figura 4.73), coincide espacialmente con la zona calculada como de mayor precipitación (Figura 4.84). Esta relación espacial visualmente confirmada no es corroborada por la correlación obtenida estadísticamente (Figura 4.88), señalando nuevamente hacia contribución de variables subyacentes en la susceptibilidad

del terreno, cuyo cálculo es definitivamente no trivial. En este sentido es de resaltar que la presencia de formaciones superficiales en áreas con pendientes topográficas pronunciadas se circunscriben a las vertientes de los valles fluviales, posiblemente condicionando la distribución de MM.

4.2.5.2 Factores determinantes para la aparición de las roturas

Dejando claro que estrictamente no era el objetivo de la Tesis el análisis de la susceptibilidad, para analizar la influencia de la formación superficial, se realizó el procedimiento de combinar el mapa de pendientes, el de formación superficial y el de lluvias (cuya base de datos es la que se presentó en la Tabla 4.16) para analizar el comportamiento de la densidad de roturas.

Al respecto se construyó la Figura 4.89, la cual muestra que las roturas más frecuentes presentan densidades menores a $10.000 \text{ m}^2/\text{km}^2$, ocurriendo en el rango entre 120 mm y 135 mm. También se observa que el valor de la precipitación calculada se incrementa levemente hasta una densidad de roturas de aproximadamente $30.000 \text{ m}^2/\text{km}^2$ y posteriormente desciende, significando que la relación directa que debería haber entre que mayor precipitación se dé mayor número y densidad de roturas únicamente se cumple hasta cierta cantidad de lluvia y posteriormente ya no hay tanta formación superficial disponible por el incremento de la pendiente topográfica.

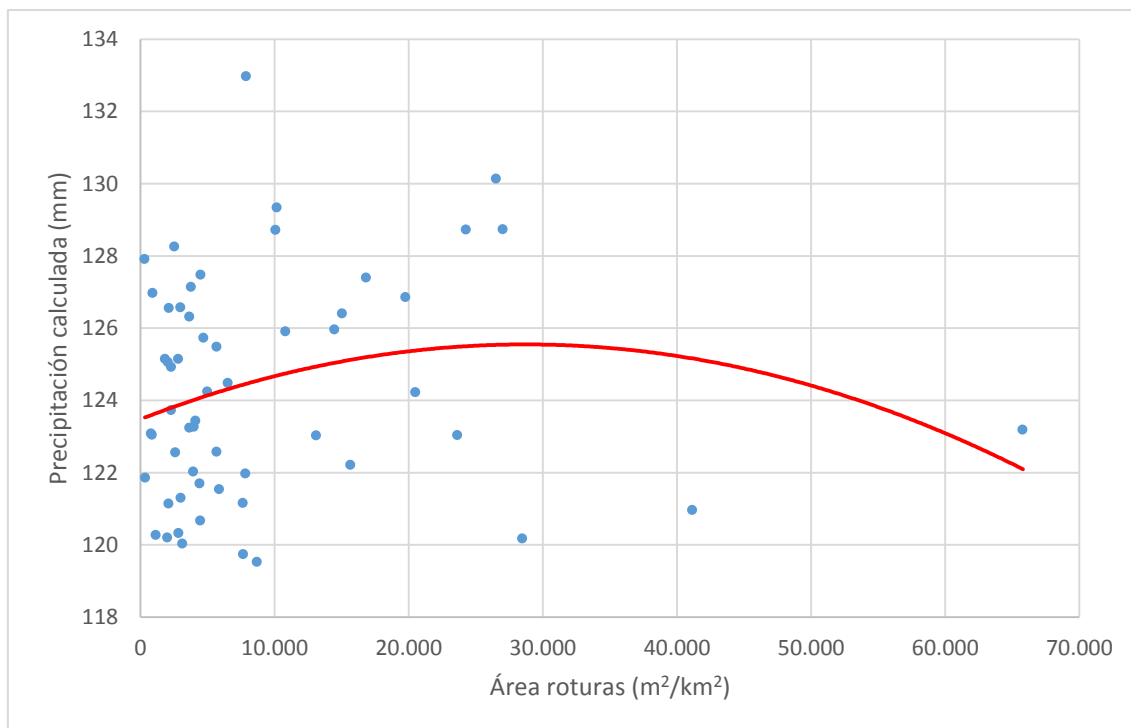


Figura 4.89 Relación precipitación y densidad de roturas para el área Barruera-Vielha

Dado que el rango de la precipitación calculada, por efecto de la baja densidad de estaciones meteorológicas y la distancia a los sitios de MM, no se justifica realizar análisis de la variación de la precipitación con la densidad de roturas para rangos de pendientes discriminados como se hizo en la zona Molló-Queralbs.

4.3 Berga – Cercs

EL área denominada Berga-Cercs (BC), debe su nombre a estos municipios localizados en la parte norte de la provincia de Barcelona (Comarca de Berguedá, Comunidad Autónoma de Cataluña, España), a 100-110 Km al NW de Barcelona capital. Por el N limita con Cercs, por el S con el casco urbano de Berga, por el E con Vilada y por el W con Espinabet (Figura 4.90). Está

localizada entre la Depresión Central Catalana y el Pre-Pirineo, en la cuenca del río Llobregat a la altura del embalse de Baells. La principal expresión topográfica del área es la Serra de la Petita (864 m), localizada al N de casco urbano de Berga, y la Serra del Mercadall (962 m) al E de Espinalbet, junto con el cerro de la Gallorsa (906 m) al oeste de Vilada; cuyas laderas son drenadas por los afluentes del río Llobregat que confluyen en el embalse de Baells. La economía está basada en la actividad industrial (hilados y tejidos), la siderometalúrgica y la de la madera, de igual forma la ganadería bovina, porcina y avícola.

En este capítulo se presentan los resultados de la compilación y análisis de información sobre los MM ocurridos como consecuencia del evento lluvioso de junio de 2008, de especial importancia por la rotura generada en el portal N del túnel de Berga que conllevó al cierre de la vía que conduce al embalse de Baells y Cercs.

Este caso de estudio presenta nueva información en comparación con las áreas de Molló-Queralbs y Barruera – Vielha: 1) extensión pequeña ($\approx 20 \text{ km}^2$); 2) tamaño individual de MM que no supera 50 m^2 (a excepción del ocurrido en el portal N del túnel de Berga); 3) ocurrencia de MM en áreas de baja altitud topográfica; y 4) documentación rápida de los hechos en campo gracias al acceso y al tiempo reciente de ocurrencia del evento.

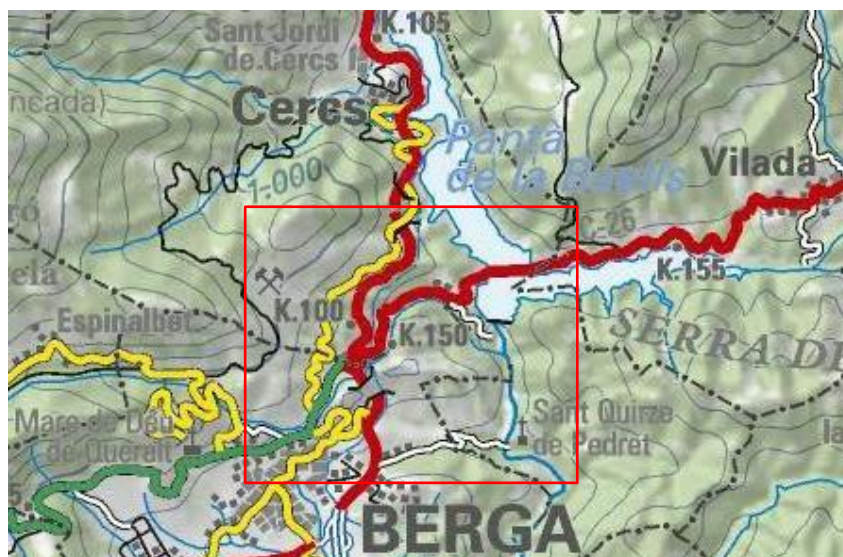


Figura 4.90 Localización del área Berga-Cercs (ICC, 2014)

4.3.1 Sustrato rocoso

Esta zona se enmarca en el sector NW de la hoja 293-Berga (ITGE 1994), donde afloran rocas con edades que van desde el Jurásico Inferior al Oligoceno.

De acuerdo al mapa geológico (Figura 4.91), las rocas más antiguas del sustrato rocoso afloran en una delgada franja en el sector nor-central y están constituidas por calizas tableadas, dolomías brechoides y margas (2) de edad Jurásico Inferior; en el mismo sector afloran las rocas de edad Santoniano-Campaniano constituidas por conglomerados, microconglomerados y arenas (5); también afloran las rocas del Campaniano-Maestrichtiano conformadas por Calizas de la Sección Vallcarga (6), Margocalizas de la Sección Areny (7) y Calizas de la Sección Areny (8). En el sector W y NE del área, afloran calizas, niveles de carbón, areniscas y lutitas rojas (Formación Garumniense, Formación Tremp; 9) y calizas blancas (Formación Vallcebre; 10) de edad

Paleoceno. Al SW afloran las rocas del Eoceno Inferior constituidas por conglomerados, areniscas y margas con asilina (12), las rocas del Eoceno Medio conformadas por alternancia de areniscas y margas de la Formación Campdevánol y Formación Valfogona (14), conglomerados masivos (cantos de caliza con alveolina; 15), yesos de la Formación Yesos de Beuda (16) y conglomerados masivos de la Formación Bellmunt (20). El Eoceno Superior está representado por lutitas rojas, areniscas y conglomerados de los sistemas aluviales inferior y medio de Berga (30 y 32, respectivamente) y conglomerados (sistema aluvial medio de Berga; 33), rocas que se extienden desde el SW y se expanden para ocupar el sector central y E del área de estudio. Finalmente, en el sector S, afloran rocas del nivel brechoide de Berga (34), lutitas rojas y areniscas (sistema aluvial superior de Berga; 35) y areniscas arcósicas, lutitas rojas y conglomerados (sistema aluvial superior de Berga; 36).

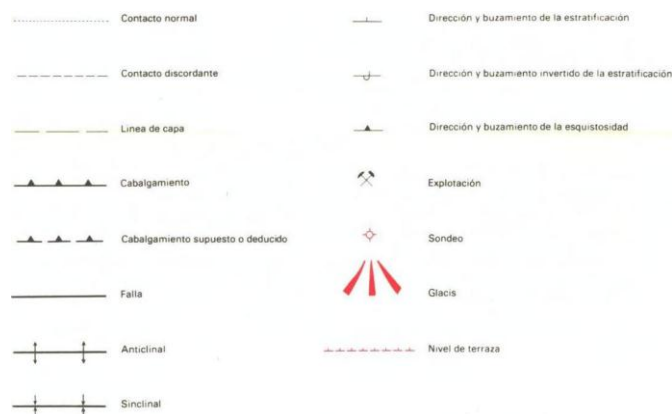
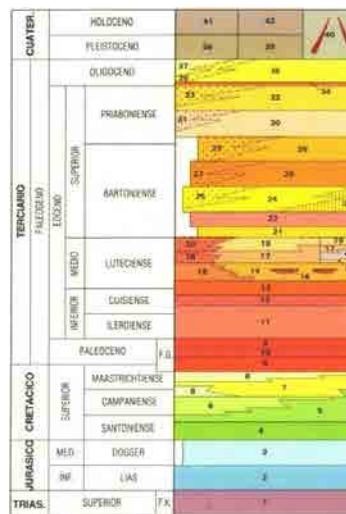
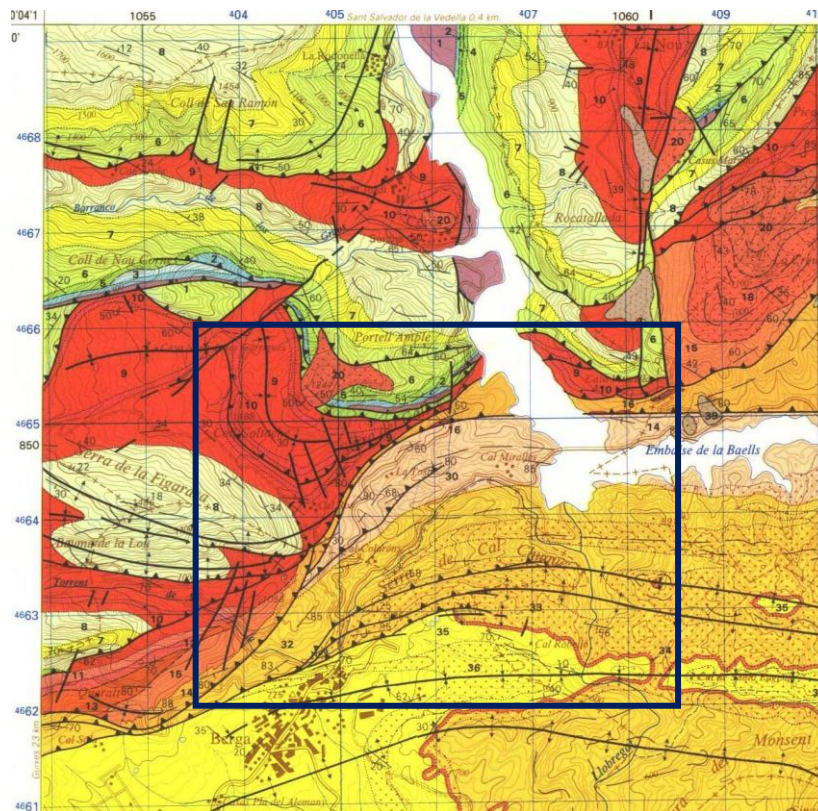


Figura 4.91 Mapa geológico Berga-Cercs (ITGE, 1994)

4.3.2 Depósitos

Los depósitos de edad Cuaternaria, de muy poca extensión, están relacionados con: 1) la red de drenaje (terrazas aluviales y depósitos aluviales), 2) al pie de relieves importantes como glacis y derrubios de vertiente, 3) como acumulaciones de limos coluviales con componentes aluviales en las cabeceras de los valles y 4) como formaciones carbonatadas continentales (Travertinos de la Baells). Estos depósitos son referidos como las formaciones superficiales del área de la plancha de 293-Berga (ITGE, 1994).

4.3.3 Geología estructural

Un aspecto importante de esta zona es la presencia de varios cabalgamientos que confluyen en la parte N del casco urbano de Berga, producto de una fase tectónica compresiva del Eoceno. Esto le confiere un alto grado de fracturamiento al substrato rocoso, lo que es un aspecto importante en estudios de amenaza por MM, por cuanto hace que el terreno sea más susceptible a la ocurrencia de dichos fenómenos geológicos. Se menciona dado que en la zona de Berga confluyen las unidades tectónicas (Figura 4.92): 1) Manto Inferior del Pedraforca (sistema imbricado de cabalgamientos que separan láminas de materiales rocosos del Mesozoico, Paleoceno y Eoceno), 2) Manto del Cadi (limitado al S por el cabalgamiento de Vallfogona, se caracteriza por presentar internamente un amplio sinclinal - Ripoll, el cual pliega el Anticlinal de Vidala-

Lillet) y 3) Antepaís (caracterizada por un conjunto de pliegues y cabalgamientos, como las estructuras sinclinal de la Quar y anticlinal de Berga, que afectan a la serie sedimentaria del Eoceno Medio al Oligoceno).

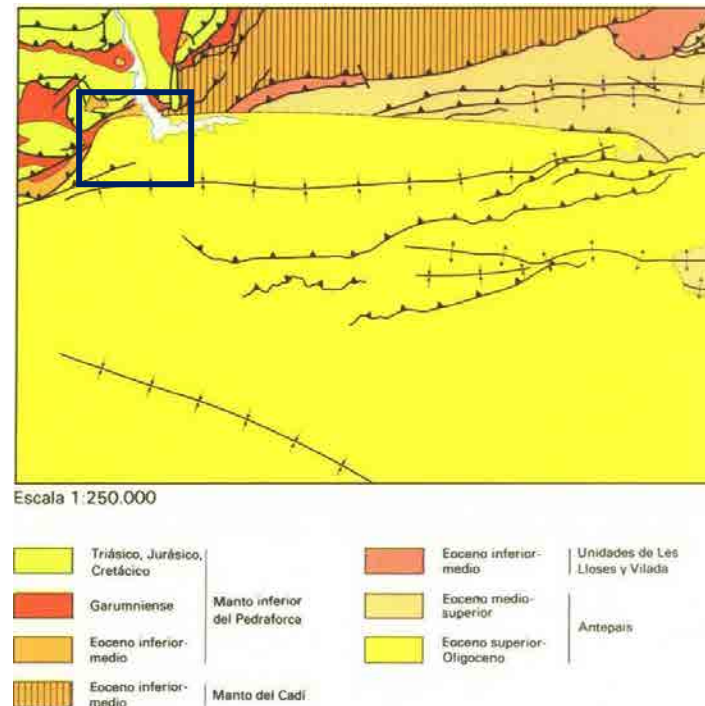


Figura 4.92 Esquema tectónico regional (ITGE, 1994)

4.3.4 Rasgos morfológicos y formaciones superficiales

En esta zona de la plancha 293 - Berga, no se encuentran cartografiadas las formaciones superficiales; solamente se tiene referencia a cerca del desarrollo de estas formaciones al pie de los relieves escarpados y abruptos de la Sierra de La Figuerasa (ITGE, 1994).

Geomorfológicamente el área se caracteriza por presentar relieves de tipo estructural generados a partir de los rasgos tectónicos confluyentes. El cabalgamiento de Valfonga separa dos zonas de relieve claramente

diferenciadas, al norte se encuentra la zona montañosa donde predominan las crestas y escarpes desarrollados sobre materiales calcáreos, donde el relieve es abrupto con escarpes verticales; al sur de dicho cabalgamiento, se presenta un glacis sobre el que está construido el casco urbano de Berga y el relieve es de crestas suaves con escarpes de diferente desnivel e incluyen áreas recubiertas por formaciones superficiales situadas en las cabeceras de los drenajes secundarios. En el llamado mapa geomorfológico y de formaciones superficiales de la plancha de Berga (Figura 4.93), se representan los anteriores rasgos geomorfológicos, pero realmente no están cartografiadas formaciones superficiales.

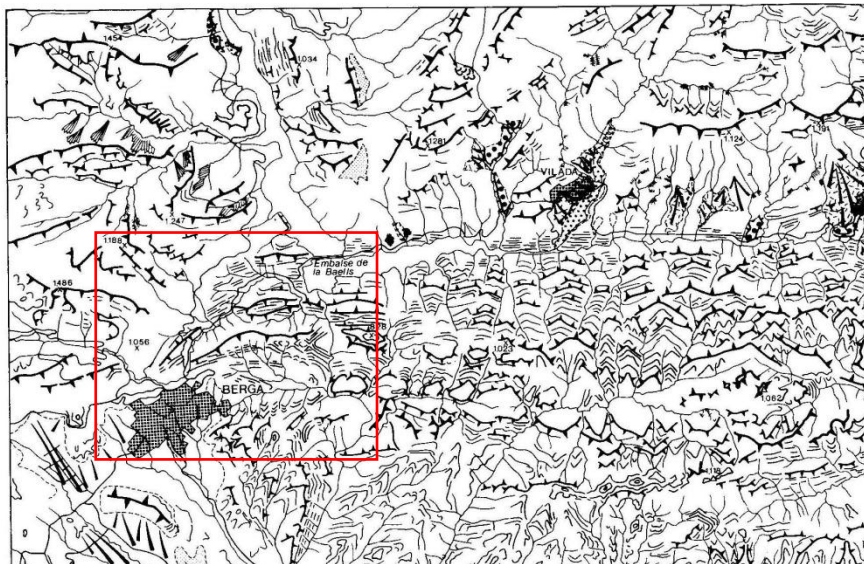




Figura 4.93 Mapa geomorfológico y de formaciones superficiales (ITGE, 1994)

4.3.5 Resultados

En este sector son conocidos dos eventos que dieron lugar a múltiples roturas por deslizamientos superficiales y corrientes de derrubios en noviembre de 1982 y en diciembre de 1997 (Gallart y Clotet, 1988; Corominas y Alonso, 1990; Corominas et al, 2002).

4.3.5.1 Inventario de movimientos en masa

Las lluvias de junio de 2008 generaron múltiples DS (Foto 4.12) y al menos dos flujos de tierra (Foto 4.13 y Foto 4.14). La región fue visitada por el autor entre el 13 y 15 de septiembre de 2010, fechas durante las cuales se documentaron 123 cicatrices de MM. Algunos de los aspectos principales del trabajo de campo se presentan a continuación. En el sector de la Serra de la Petita se

observaron cicatrices de MM en el flanco NW que se encuentra intervenido antrópicamente con terrazas de cultivo y en el flanco S (Foto 4.15 y Foto 4.16).



Foto 4.12. Deslizamientos superficiales en la antigua carretera Berga Cercs (Foto: J. Corominas, 7 de Junio de 2008).



Foto 4.13. Flujo de tierra en el portal N del túnel de Berga (Foto: J. Corominas, 7 de Junio de 2008).



Foto 4.14 Flujo de tierra y deslizamientos superficiales en la ladera sur de la Serra de la Petita (Foto: J. Corominas, 7 de Junio de 2008).



Foto 4.15. Cicatrices de deslizamientos superficiales en los taludes de terrazas de cultivo en el flanco NW de la Serra de la Petita.



Foto 4.16. Detalle de deslizamiento superficial en terrazas de cultivo en el sector NW de la Serra de la Petita.

En el sector N del túnel de Berga se observó el principal MM (Foto 4.13) y DS en el sector S (Foto 4.17), sitios en los cuales se observó litología consistente en conglomerados y arcillolitas y un suelo residual de guijarros redondeados, matriz soportado de hasta 2 m de espesor.



Foto 4.17. Deslizamientos superficiales en la parte superior del portal S del túnel de Berga.

En la vía antigua a Cercs se observaron DS en laderas terraceadas y en sectores cubiertos por vegetación arbórea (Foto 4.12 y Foto 4.18).



Foto 4.18. Deslizamientos superficiales en el sector km 82 – Tossal de la Guardia

En el sector de la vía del Pantà de la Baells – Vilada se documentaron DS (Foto 4.19) y flujos de tierras en el flanco W del Serrat de Gallorsa (Foto 4.20).



Foto 4.19. Deslizamiento superficial en el talud vial km 150,5 vía C-26.



Foto 4.20. Flujo de tierras en el sector SW del Serrat de Gallorsa.

El uso de fotografías aéreas (ICC, 2004 y 2008) permitió complementar el trabajo de campo y realizar un inventario definitivo de 224 roturas (Anexo 22) en un área de 20 km², razón por la cual este conjunto de MM es un MORLE.

Dado el tamaño pequeño de las cicatrices, el análisis estadístico de este inventario se restringe a la densidad espacial y no al área de la rotura, debido a la imposibilidad de digitalización.

4.3.5.2 Campo de densidad de roturas

El mapa de cobertura de suelo más cercano a la fecha de ocurrencia del evento lluvioso fue publicado por CREAM (1993; Figura 4.94), cuya combinación con el inventario de MM resulta en los datos de la Tabla 4.17. La reasignación de MM, no obstante indica la siguiente distribución: bosques densos (16 MM), cultivos (5 MM), matorrales (201 MM) y prados y herbazales (2 MM); evidenciando que los MM coinciden con la presencia de formación superficial.

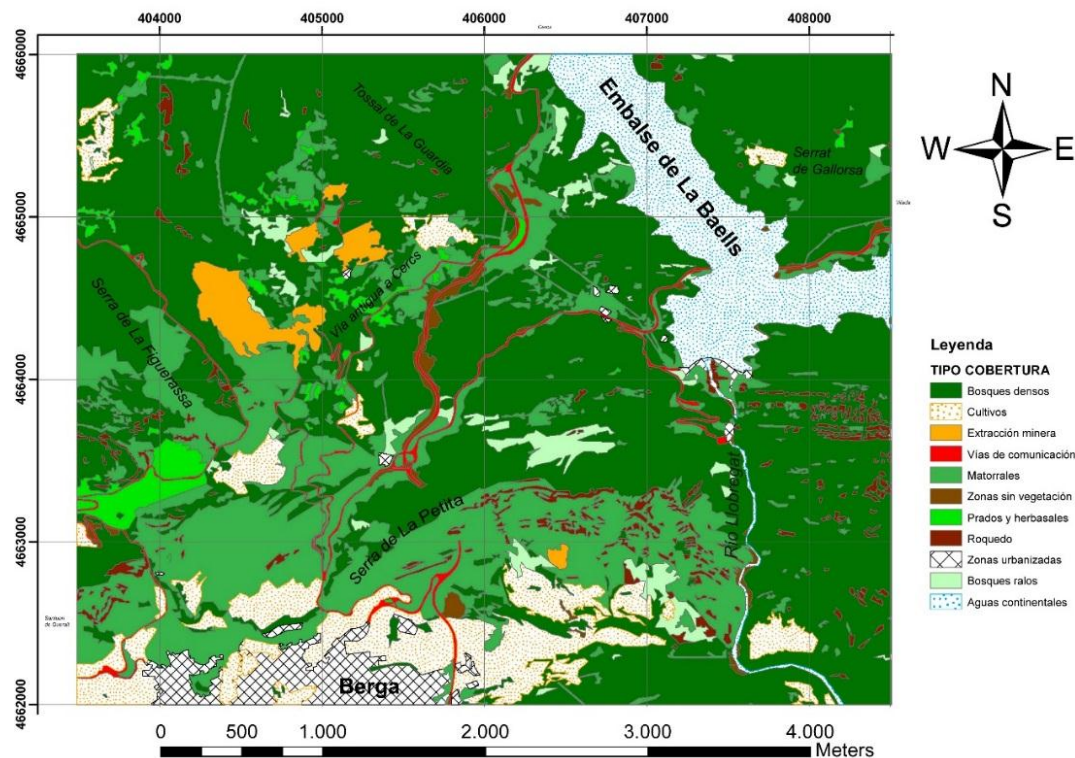


Figura 4.94 Mapa de cobertura del suelo (CREAF, 1993).

Tabla 4.17 Movimientos en masa por tipo de cobertura de suelo

FID_1	Código Cobertura	Nombre Cobertura	# MM
0	b	Bosques Densos	11
1	c	Cultivos	2
2	d	Zonas de Extracción Minera	0
3	k	Vías de Comunicación	6
4	m	Matorrales	183
5	n	Zonas Erosionadas	2
6	p	Prados y Herbazales	2
7	r	Roquedos	1
8	u	Zonas Urbanizadas	0
9	v	Bosques Claros	0
10	w	Aguas Continentales	0

La posterior zonificación de coberturas del suelo en áreas con y sin formación superficial y la superposición del inventario de MM, resulta en el mapa de la Figura 4.95.

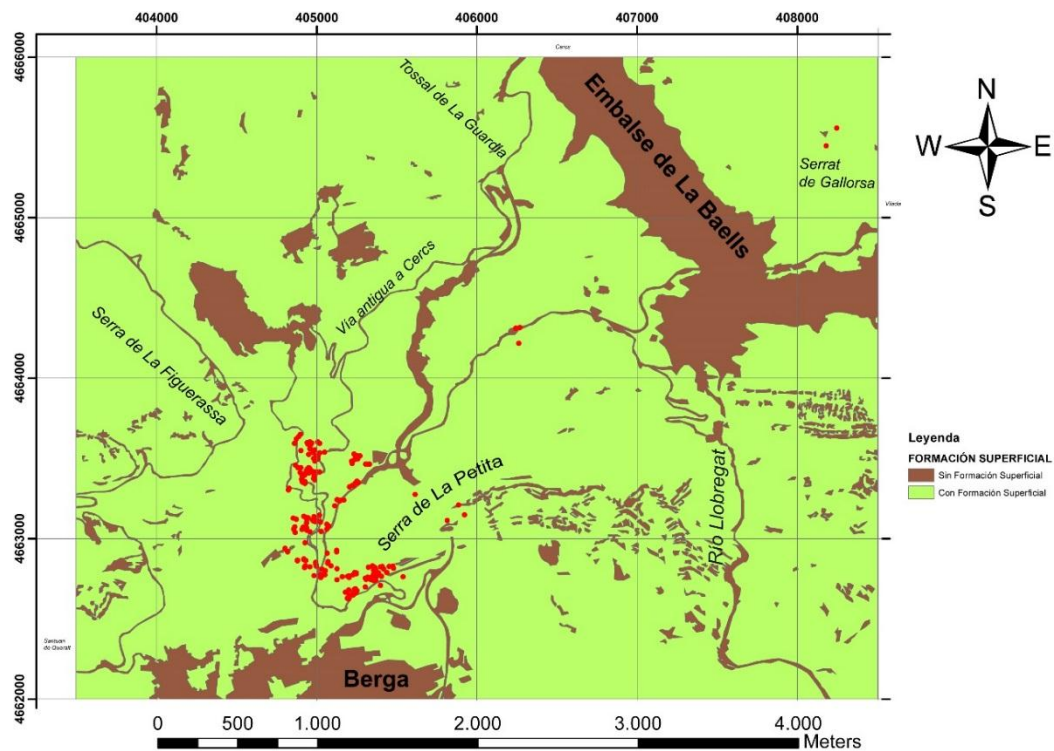


Figura 4.95 Mapa de zonas con y sin formación superficial e inventario de movimientos en masa.

La reclasificación de las pendientes del área con intervalos de 5° y posterior combinación con el inventario de movimientos en masa, arrojó los datos de la Tabla 4.18.

Tabla 4.18 Relación pendiente topográfica y número de movimientos en masa.

GRIDCODE	PENDIENTEº	# MM	%
1	0-5	0	0,0
2	5-10	3	1,4
3	10-15	7	3,4
4	15-20	16	7,7
5	20-25	28	13,5
6	25-30	30	14,5
7	30-35	28	13,5
8	35-40	50	24,2
9	40-45	31	15,0
10	45-50	9	4,3
11	50-55	3	1,4
12	55-60	1	0,5
13	60-65	1	0,5
14	65-70	0	0,0
15	75-80	0	0,0
16	80-90	0	0,0

El análisis de estos datos muestra que el 80% de las roturas ocurrieron en zonas cuya pendiente varía entre 20° y 50°, confirmando los valores observados en las otras dos áreas de la Tesis.

Posteriormente se realizó el cálculo del valor umbral $\theta = 15^\circ$, el cual integrado al MDE produjo la reclasificación en pendientes que se muestra en la Figura 4.96.

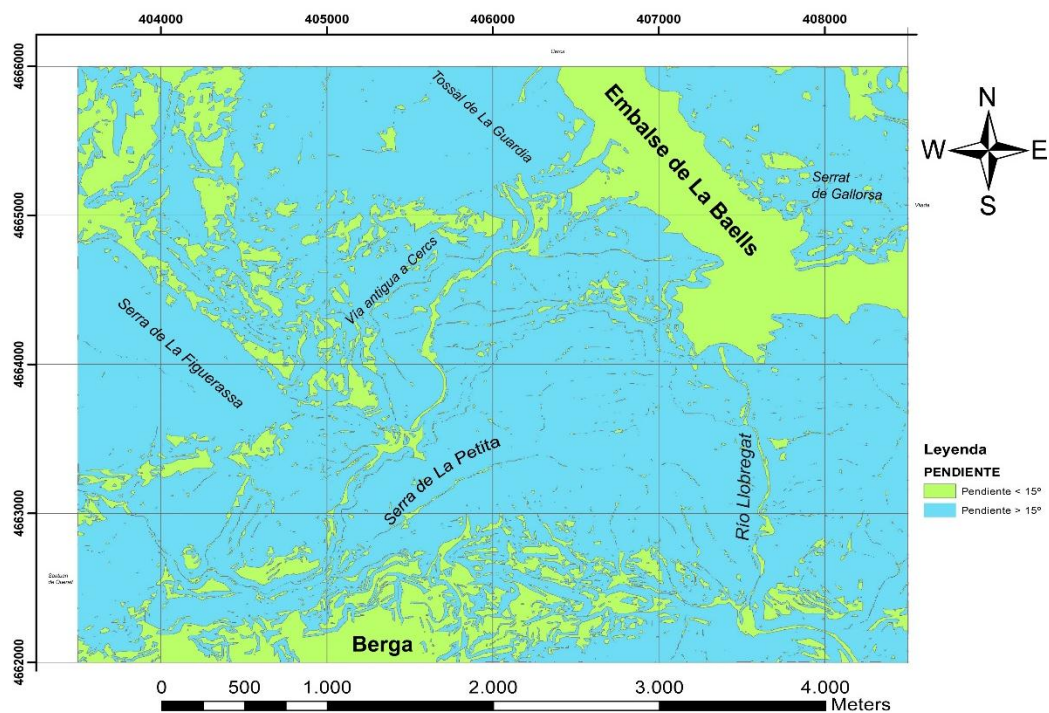


Figura 4.96 Mapa de pendientes menores y mayores a 15°.

La superposición de este mapa con el inventario de MM y posterior kriging resultó en el campo de densidad de roturas de la Figura 4.97, en el cual se aprecia una mayor concentración de roturas en el cuadrante SW del área.

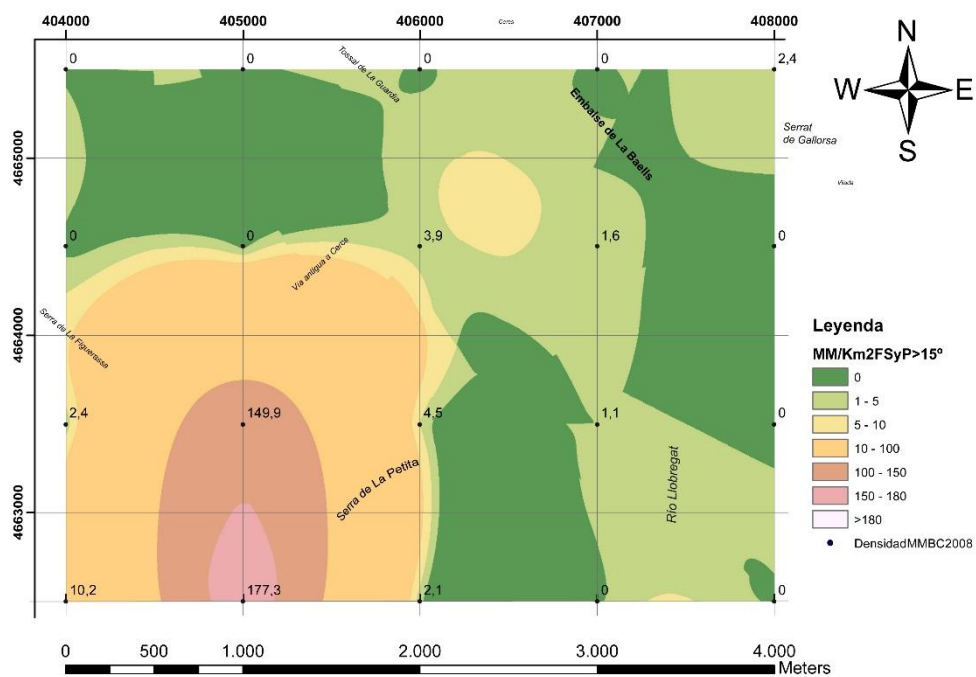


Figura 4.97 Campo de densidad de roturas por km².

La base de datos correspondiente se relaciona en la Tabla 4.19.

Tabla 4.19 Base de datos del campo de densidad de roturas por km^2 .

Id_Centroide	X_UTM_mE	Y_UTM_mN	AREA_M2	No. MM	MM/Km2FSyPm15g
1	404000	4662500	689541,3	7	10,2
2	405000	4662500	468081,0	83	177,3
3	406000	4662500	476895,7	1	2,1
4	407000	4662500	757444,6	0	0,0
5	408000	4662500	791086,2	0	0,0
6	404000	4663500	829412,7	2	2,4
7	405000	4663500	800343,5	120	149,9
8	406000	4663500	894690,8	4	4,5
9	407000	4663500	888089,9	1	1,1
10	408000	4663500	866064,9	0	0,0
11	404000	4664500	719094,5	0	0,0
12	405000	4664500	618923,7	0	0,0
13	406000	4664500	778956,4	3	3,9
14	407000	4664500	607652,8	1	1,6
15	408000	4664500	437401,5	0	0,0
16	404000	4665500	446751,3	0	0,0
17	405000	4665500	927476,6	0	0,0
18	406000	4665500	872206,1	0	0,0
19	407000	4665500	309022,1	0	0,0
20	408000	4665500	836874,4	2	2,4

Las estadísticas preliminares sugieren un promedio alrededor de $17,8 \text{ MM/km}^2$.

El cálculo de múltiples distribuciones teóricas (Anexo 23) y la aplicación del método del estimador de máxima verosimilitud indican que una función de tipo *Generalized Extreme Value* con valor $p = 0,1$ y parámetros: $k=0,85783$ $\sigma=2,6292$ $\mu=0,66424$, es la que mejor se ajusta a la distribución de los datos (Anexo 24). El correspondiente histograma y PDF se muestran en la Figura 4.98.

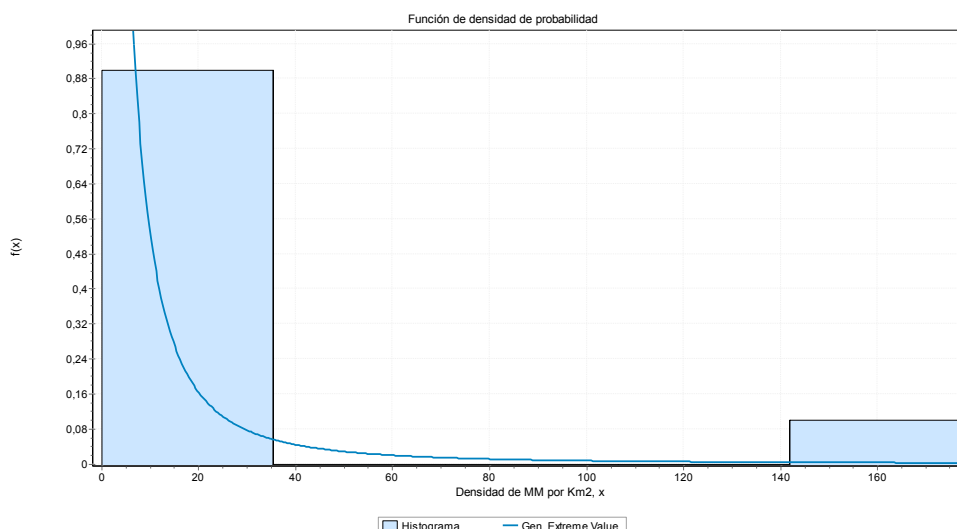


Figura 4.98 Histograma y PDF del tipo Generalized Extreme Value del campo de densidad de roturas por km^2 .

4.3.5.3 Campo de lluvias de junio de 2008

La recopilación de datos de precipitación en los días anteriores del evento lluvioso para la estación meteorológica más cercana a los sitios de interés (Santuari de Queralt) resultó en la Figura 4.99, a partir de la cual se determinó que el evento lluvioso inició el 31 de mayo y culminó el 6 de junio. Los datos pluviométricos registrados en las estaciones meteorológicas de los alrededores al área de estudio se presentan en la Tabla 4.20. La precipitación pico diaria en las estaciones más cercanas a la zona de MM (Santuari de Queralt y Meteo-Berga) se presentó el 4 de junio (47,2 mm y 72,9 mm, respectivamente), mientras que en las demás estaciones se presentó el día 5 de junio.

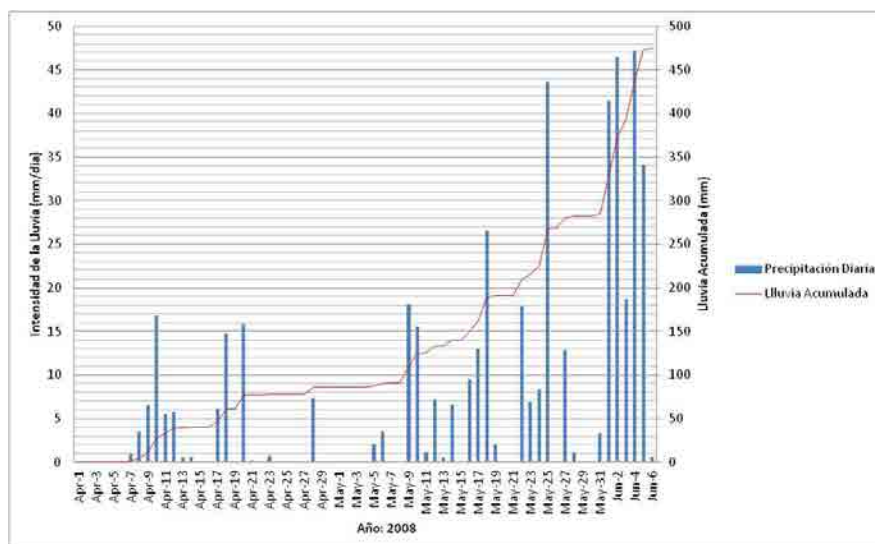


Figura 4.99 Lluvias diarias y acumuladas abril 1 a junio 6 de 2008 (Santuari de Queralt)

Tabla 4.20 Datos del evento lluvioso de junio de 2008

Código Estación	Nombre Estación	Altitud (msnm)	X_UTM	Y_UTM	P31/05/2008 (mm)	P01/06/2008 (mm)	P02/06/2008 (mm)	P03/06/2008 (mm)	P04/06/2008 (mm)	P05/06/2008 (mm)	P06/06/2008 (mm)	PTotalEvento(mm)
WV (SMC)	Guardiola de Berguedà	788	407251	4676588	1.5	5.4	11.9	1.1	12.3	20.8	0.0	53.0
CR (SMC)	la Quar	873	414274	4659418	2.0	1.0	33.8	3.8	9.8	26.2	0.2	76.8
WM (SMC)	Santuari de Queralt	1140	403150	4662550	3.3	41.5	46.5	18.7	47.2	34.1	0.6	191.9
MB	Meteo Berga	684	404581	4661513	3.3	25.1	42.2	28.4	72.9	39.1	1.0	212.0
82 (AEMET)	Baga	780	406005	4678708	5.7	2.2	24.1	0.0	6.8	14.0	0.0	52.8
95 (AEMET)	Gironella	460	408666	4653994	2.5	0.0	12.0	11.0	0.0	21.5	4.2	51.2
97 (AEMET)	Casserres	617	403993	4651989	1.8	0.0	13.6	23.5	0.0	20.8	6.0	65.7
0134E (AEMET)	Busa	1200	384227	4660276	4.0	1.5	15.2	0.2	0.0	19.5	0.0	40.4

SMC: Servicio Meteorológico de Cataluña MB: MeteoBerga AEMET: Agencia Estatal de Meteorología

La información sobre variables secundarias relacionadas a altura topográfica, pendiente, orientación y curvatura, calculadas a partir del MDE (Figura 4.100) incluye el área que engloba las estaciones meteorológicas alrededor del área Berga-Cercs. La Figura 4.101, Figura 4.102, Figura 4.103 y Figura 4.104, muestran la distribución espacial de las variables secundarias calculadas.

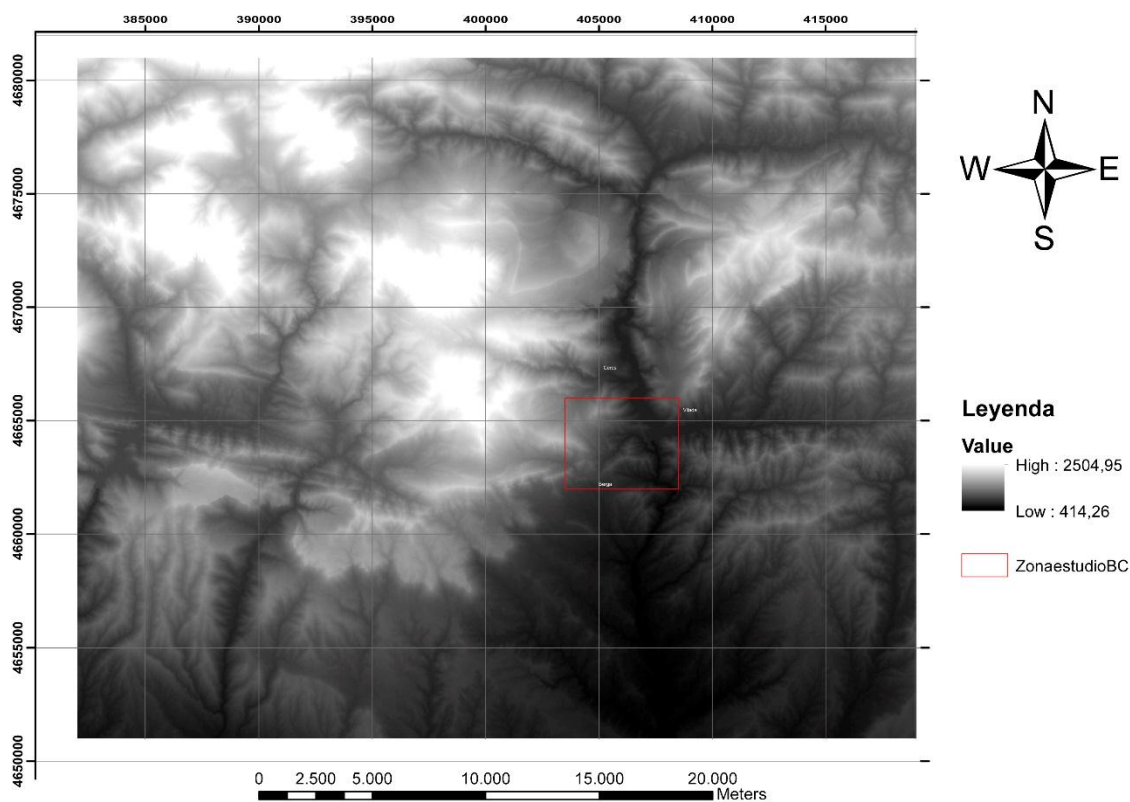


Figura 4.100 MDE de la zona de estaciones meteorológicas alrededor del área Berga – Cercs (rectángulo rojo).

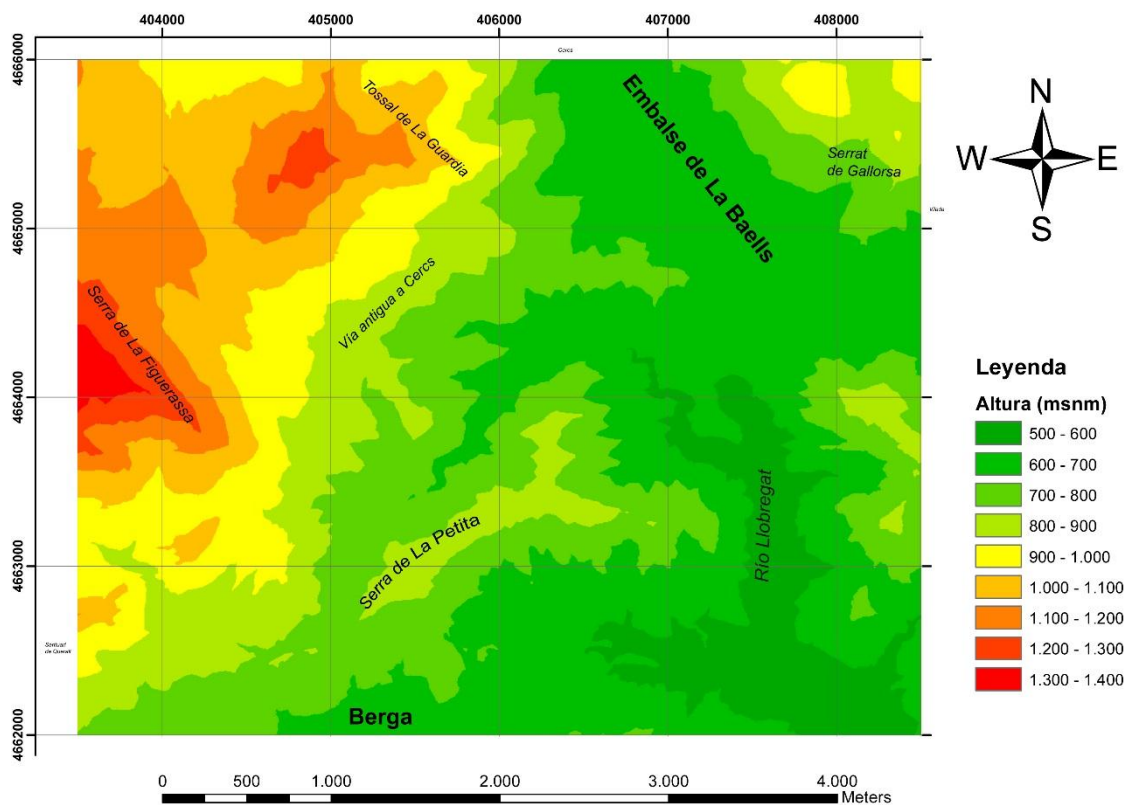


Figura 4.101 Mapa de altura topográfica

En este mapa se observa que las mayores alturas se presentan en el sector NW, coincidiendo con el sustrato rocoso conformado por rocas calcáreas que son las más compactas de las aflorantes en la zona (Figura 4.91).

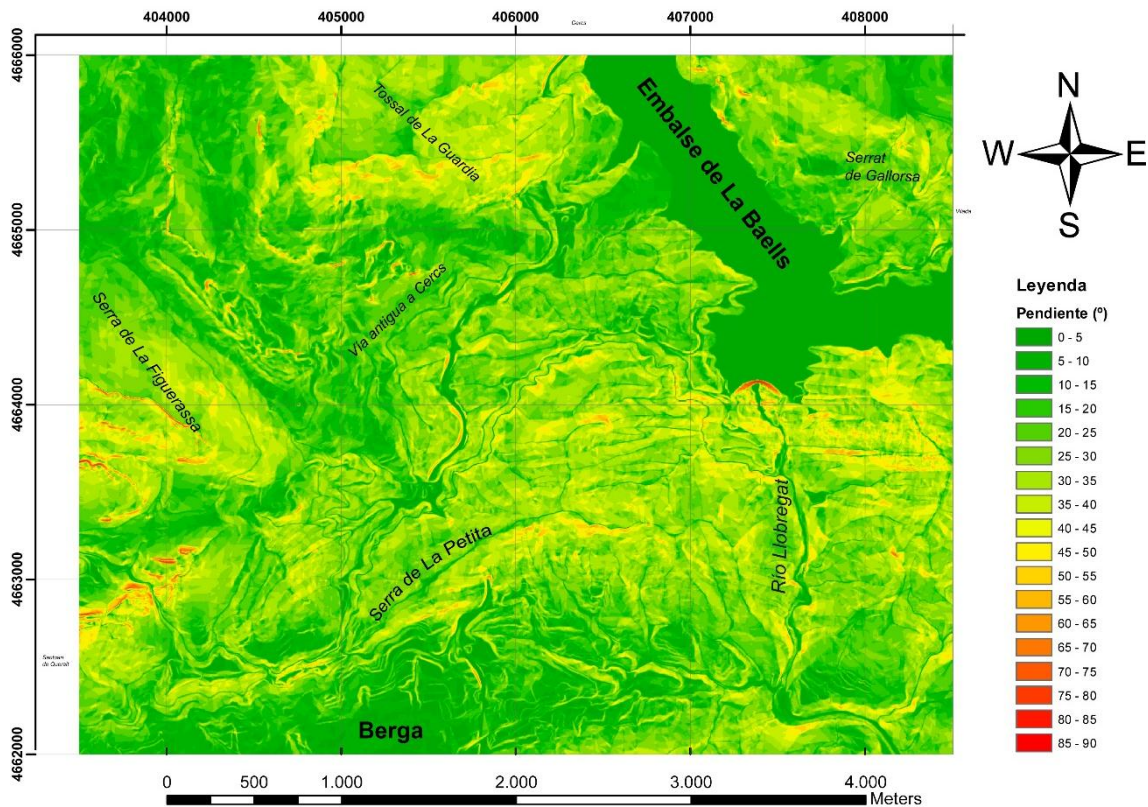


Figura 4.102 Mapa de pendientes topográficas

Las pendientes pronunciadas se relacionan a las cimas de las zonas montañosas, especialmente en la sierra de la Figuerassa (Figura 4.91) y al S de esta última.

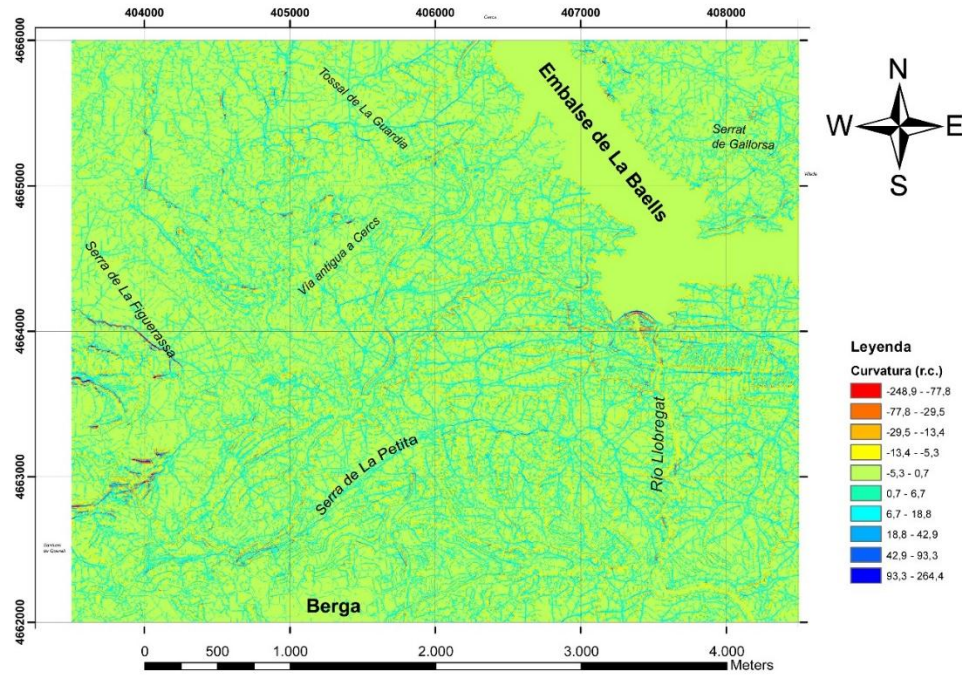


Figura 4.103 Mapa de curvatura promedio

En este mapa se aprecian valores altos de curvatura convexa (colores oscuros) en las partes altas de la sierra de la Figuerassa, mientras que las curvaturas cóncavas se concentran en las valles fluviales.

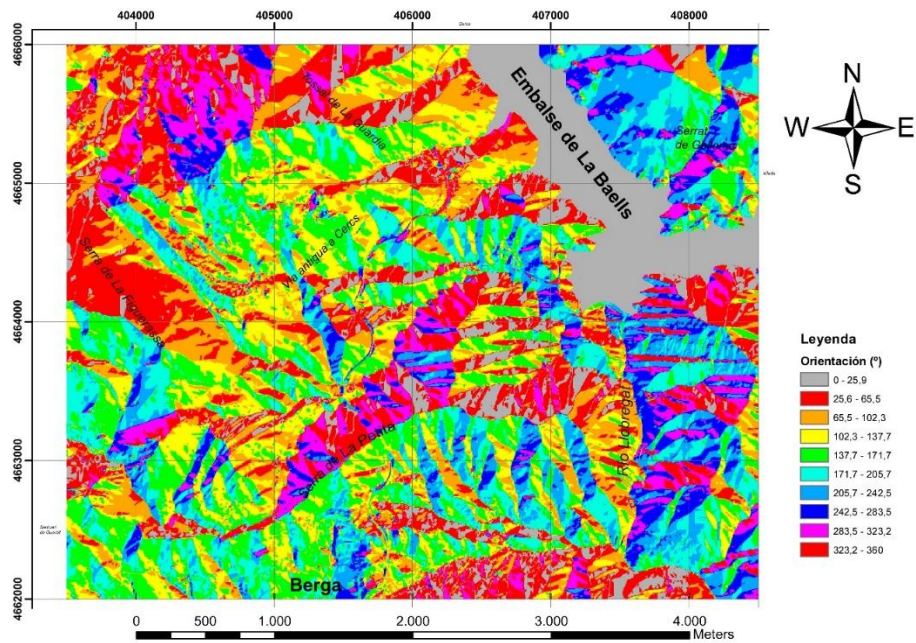


Figura 4.104 Mapa de orientación

Este mapa revela orientación preferencial de laderas hacia el N, lo cual contrasta con la concentración de MM en las laderas con orientación Sur (Figura 4.95). En cuanto a las distancias al centro de la tormenta, estas se calcularon de la estación Meteo-Berga, resultando en la Figura 4.105.

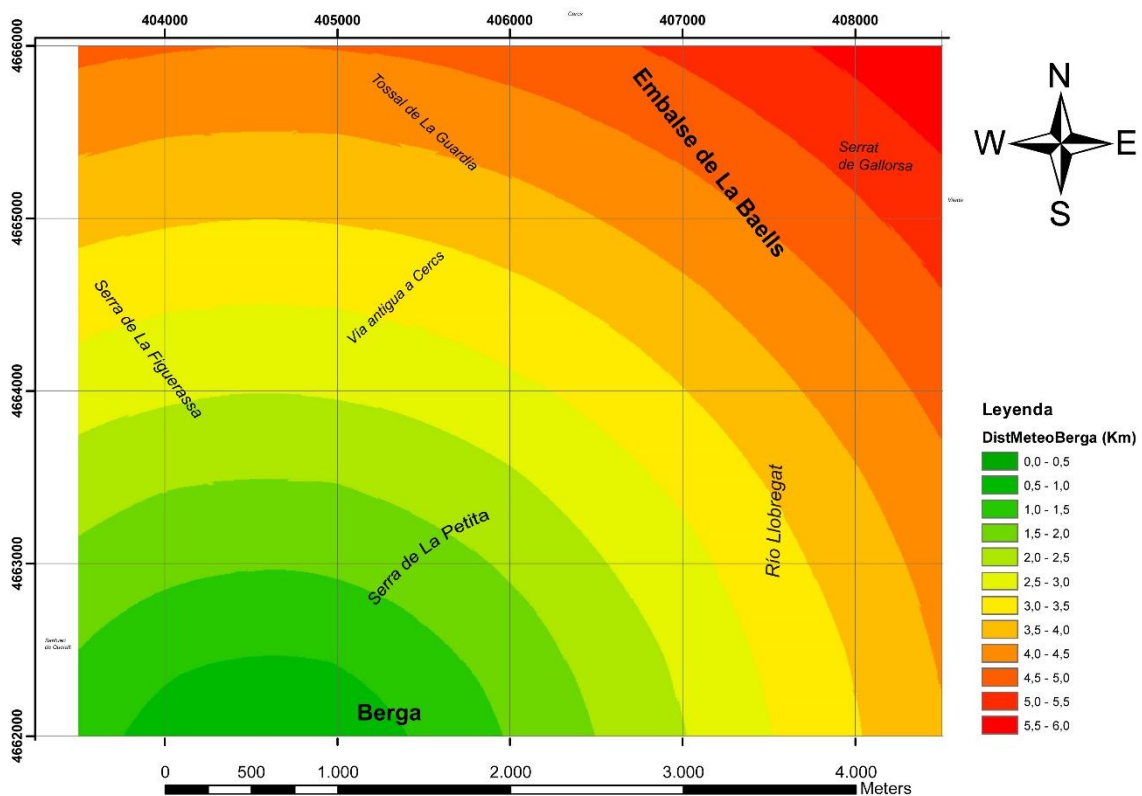


Figura 4.105 Mapa de distancia a la estación MeteoBerga

El procedimiento de regresión lineal múltiple para encontrar la relación entre las variables secundarias y la precipitación (Tabla 4.20), permitió la obtención de la Ecuación 13 para el cálculo de precipitación estimada en diferentes puntos del área de estudio.

$$\text{Ecuación 13. } P_{\text{Total}} (\text{mm}) = 103,65 + 0,79(\text{altitud}) + 1,92(\text{pendiente}) - 259,38(\text{curvatura}) - 0,13(\text{orientación}) - 9,3(\text{distancia})$$

El modelo digital de precipitación total para las lluvias del evento de junio de 2008, se presenta en la Figura 4.106 y el correspondiente mapa de precipitación total promedio por km² en la Figura 4.107.

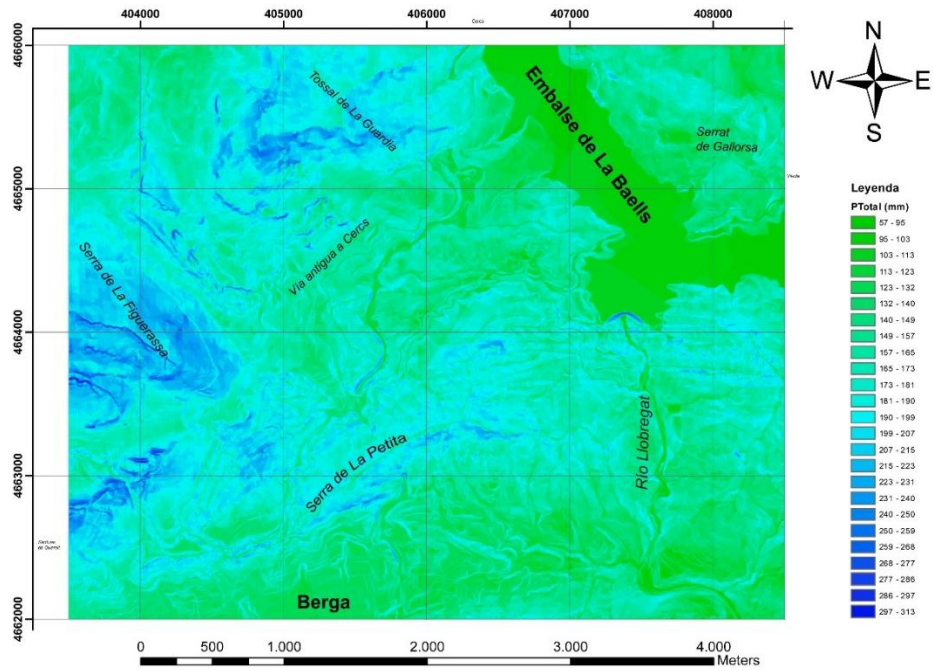


Figura 4.106 Mapa digital de precipitación total, evento lluvioso de junio 2008

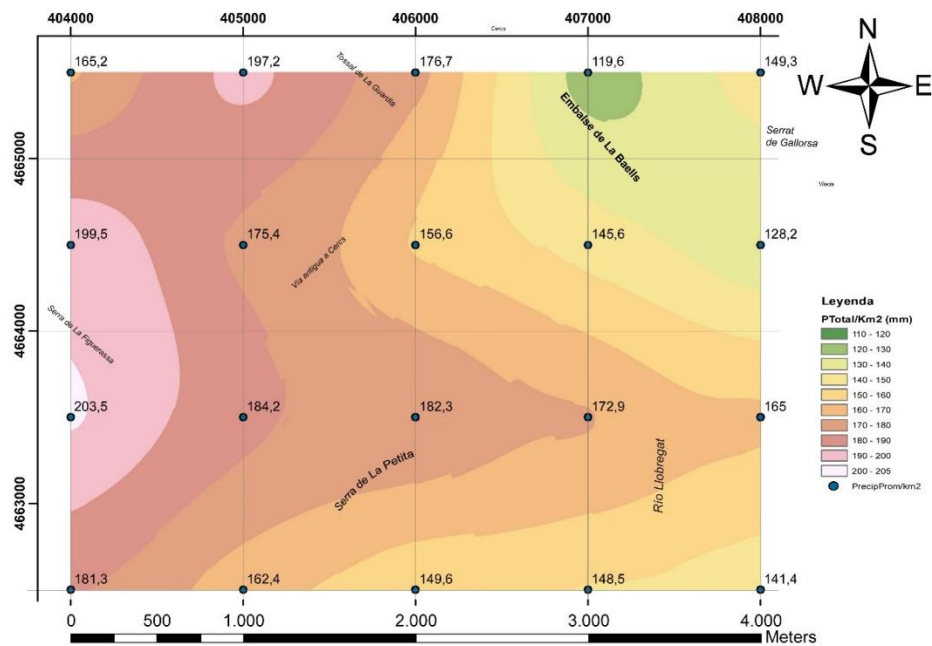


Figura 4.107 Mapa de precipitación total promedio por km²

La mayor precipitación se concentra en dos áreas: en el sector W sobre la sierra de la Figuerassa y al N en el Portell Ample al S de Cercs.

La aplicación del estimador de máxima verosimilitud a los datos de la Figura 4.107, resultó en la base de datos de la Tabla 4.21, donde las estadísticas preliminares indican una precipitación promedio de 165,2 mm.

Tabla 4.21 *Precipitación total promedio por km²*

ID	X_UTM_mE	Y_UTM_mN	Precipitación Promedio por Km2 (mm)
1	404000	4662500	181,3
2	405000	4662500	162,4
3	406000	4662500	149,6
4	407000	4662500	148,5
5	408000	4662500	141,4
6	404000	4663500	203,5
7	405000	4663500	184,2
8	406000	4663500	182,3
9	407000	4663500	172,9
10	408000	4663500	165,0
11	404000	4664500	199,5
12	405000	4664500	175,4
13	406000	4664500	156,6
14	407000	4664500	145,6
15	408000	4664500	128,2
16	404000	4665500	165,2
17	405000	4665500	197,2
18	406000	4665500	176,7
19	407000	4665500	119,6
20	408000	4665500	149,3

La evaluación de múltiples distribuciones teóricas (Anexo 25) y sus correspondientes bondades de ajuste permite establecer que la PDF que mejor explica los datos es la de tipo *Error* (Anexo 26), con valor $p = 0.99$ y parámetros $k=1,0$ $\sigma=50,131$ $\mu=17,77$. La Figura 4.108 muestra el histograma y PDF de esta distribución, donde se aprecia que para el intervalo 136 mm -187 mm existe la mayor concentración de valores de lluvia.

La expresión matemática correspondiente está dada por la Ecuación 14.

$$\text{Ecuación 14: } f(x) = \frac{h}{\sqrt{\pi}} \exp(-hx)^2$$

Donde h corresponde al denominado parámetro de escala inversa continua ($h>0$).

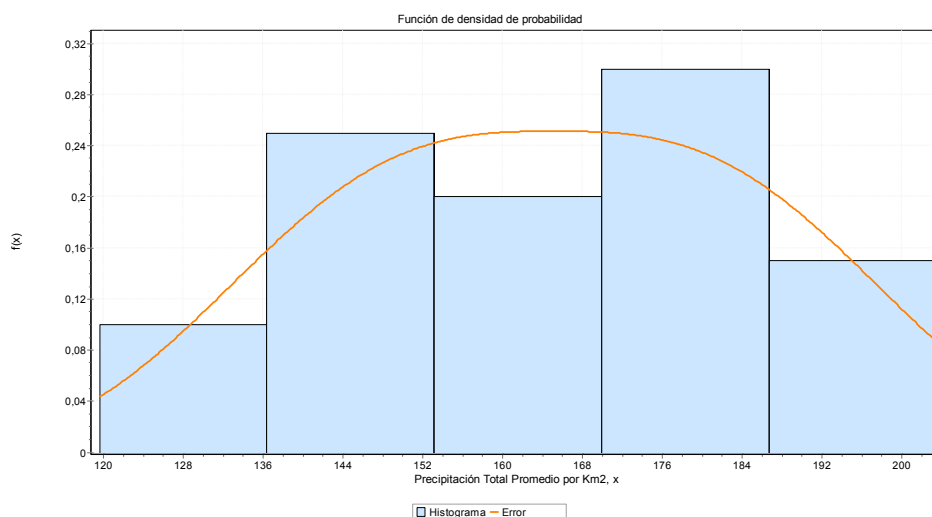


Figura 4.108 Histograma y PDF de la distribución Error para el campo de densidad de roturas por km^2 .

La intersección entre los mapas de campo de densidad de MM (Figura 4.97) y campo de lluvias (Figura 4.107), resulta en la base de datos que se presenta en la Tabla 4.22.

Tabla 4.22 Base de datos de la relación entre el campo densidad de roturas por km^2 y el campo de precipitación total promedio por km^2

ID	X_UTM_mE	Y_UTM_mN	MMporKm2FSyPm15g	Precipitación Promedio (mm)
1	404000	4662500	10,2	181,3
2	405000	4662500	177,3	162,4
3	406000	4662500	2,1	149,6
6	404000	4663500	2,4	203,5
7	405000	4663500	149,9	184,2
8	406000	4663500	4,5	182,3

9	407000	4663500	1,1	172,9
13	406000	4664500	3,9	156,6
14	407000	4664500	1,6	145,6
20	408000	4665500	2,4	149,3

La aplicación de la regresión lineal simple asumiendo una línea de ajuste que pasa por el origen se presenta en la Figura 4.109.

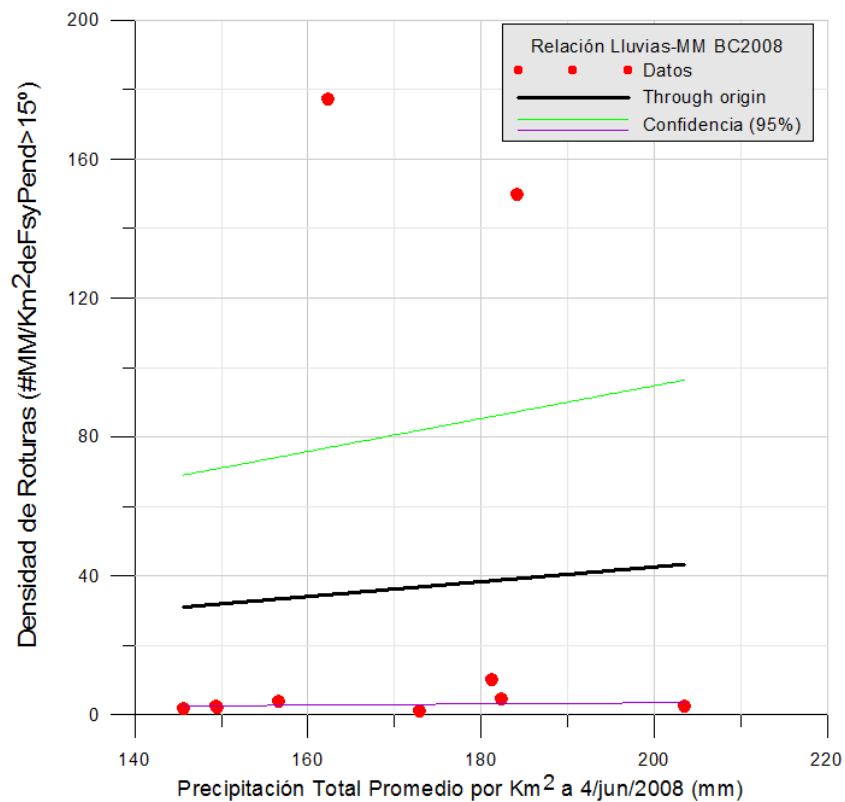


Figura 4.109 Relación campo de densidad de roturas por km² y precipitación total promedio por km²

La Ecuación 15 corresponde a la línea de ajuste.

Ecuación 15: $\text{Densidad de roturas} = -\varepsilon + 0.21 * (\text{Precipitación total promedio por km}^2)$

Con coeficiente de determinación $R^2 = 0.24$, indicativo de un ajuste pobre a la distribución de los datos. ε , corresponde al valor del umbral de la lluvia detonante por debajo del cual no se producen movimientos en masa.

4.3.6 Discusión

El evento lluvioso analizado para el área de Berga-Cercs fue ampliamente documentado para el día miércoles 4 de Junio de 2008, dado que dio origen a un movimiento en masa que interrumpió la vía C-16 a la altura del portal norte del túnel de Berga (Agencia Catalana de Noticias, 2008); sin embargo, la investigación de esta Tesis sirvió para determinar que en realidad las lluvias ocurrieron entre el 31 de mayo y el 6 de Junio de 2008.

Dada la reciente ocurrencia de estos eventos y la extensión local (20 km^2), se posibilitó la confirmación en campo de un inventario de 224 MM que ocurrieron en la Serra de la Petita, vía al embalse de la Baells y en la vía antigua a Cercs, sitios donde predomina la intervención antrópica (terrazas de cultivo), además de unos pocos a lo largo de la vía al embalse de la Baells. Con la excepción de tres roturas tipo flujo de tierra, todos los MM inventariados presentan áreas $< 25 \text{ m}^2$, lo que descartó su digitalización, por tanto el mapeo de las áreas y el análisis estadístico respectivos

El correspondiente campo de densidad roturas por km^2 (Figura 4.97) y el campo de las lluvias (Figura 4.106), se analizaron con el método EMV estableciéndose que las PDF que mejor se ajustan a los datos son de tipo *Generalized Extreme Value* (Figura 4.98) y *Error* (Figura 4.108), resultados atípicos que surgen de la naturaleza misma de las densidades de MM

calculadas y el número reducido de nodos en la retícula del campo de lluvias. Nuevamente es apreciable una correlación espacial entre los campos de densidad de MM y el de precipitación, pero la cuantificación de una correlación estadística no es contundente; debido posiblemente a la influencia de dos valores extremos en las densidades de roturas (Figura 4.109). Adicionalmente, es razonable suponer acerca de la posible participación de factores no cuantificados como la intervención antrópica actual en la zona de terrazas de cultivo (Foto 4.16), donde los payeses de la región han remodelado el terreno sobre las formaciones superficiales. Al respecto se resalta la importancia de acudir a documentar rápidamente los MM en este caso, por cuanto los habitantes de la región reparan rápidamente las áreas de roturas.

CONCLUSIONES

Este estudio se nutrió de los datos de tres regiones contrastantes desde varios puntos de vista: 1) La extensión espacial de los fenómenos analizados, la cual oscila entre 20 km² (Berga-Cercs) y 504 km² (Barruera-Vielha); 2) la época de ocurrencia de los eventos lluviosos que va desde 1940 (Molló-Queralbs) hasta 2008 (Berga-Cercs), implicando diferencias radicales en disponibilidad de información y por tanto restringiendo la reconstrucción completa de los inventarios; 3) el tamaño de las cicatrices de los MM que está en el rango < 25m² (Berga-Cercs) hasta 83.813,6 m² (Molló-Queralbs); 4) el tipo de formaciones superficiales que en el caso de Molló-Queralbs consisten principalmente en derrubios de laderas, para Barruera-Vielha son depósitos de tipo glacial y que en el caso de Berga-Cercs incluyen principalmente capas meteorizadas de sustrato rocoso intervenidas antrópicamente (terrazas de cultivos).

De otra parte también fue posible identificar similitudes entre las tres áreas: 1) todos los eventos lluviosos fueron atípicos para la época de ocurrencia; 2) la duración de las lluvias que en promedio fue de 5 días, implicando la posible contribución de la lluvia antecedente; 3) la cantidad de MM generados en extensiones especiales que permiten la clasificación de los tres casos de estudio como MORLE.

El desarrollo de la investigación, la metodología establecida, los resultados logrados y la revisión del estado del arte, permiten concluir que:

- En los tres casos: Molló-Queralbs, Barruera-Vielha y Berga-Cercs, tanto el número de MM como la extensión espacial de estos determinan por primera vez para el área de los Pirineos, su clasificación como fenómenos tipo MORLE.
- Se implementó un procedimiento metodológico para la recopilación, reconstrucción y análisis de MM tipo MORLE, en este caso, desencadenados por eventos lluviosos de extensión regional y de varios días de duración. La rigurosidad del método está soportada en la compilación de información y los aspectos cuantitativos involucrados en su análisis.
- Se reconstruyó la distribución espacial de los MM y los campos de lluvia asociados a las tres regiones de interés, involucrando variables secundarias como la altura topográfica, la pendiente, la orientación, la curvatura del terreno y la distancia al sitio de mayor intensidad de las lluvias. Se encontró que para el caso de Molló-Queralbs el inventario consiste de 620 MM distribuidos en un área de $411,8 \text{ km}^2$ ($1,5 \text{ MM/km}^2$); para el caso de Barruera-Vielha se encontró un total de 207 MM sobre una extensión de 504 km^2 ($0,4 \text{ MM/km}^2$); mientras que para Berga-Cercs, se inventariaron 224 cicatrices en un área de 20 km^2 ($11,2 \text{ MM/km}^2$).
- De todos los factores condicionantes analizados: pendiente topográfica, presencia de formación superficial, cobertura del suelo, curvatura, orientación, altitud y distancia al centro de la tormenta, aquellas condicionantes son: la formación superficial y la pendiente. En la región de Molló-Queralbs la formación superficial dominante son los derrubios de vertientes, para Barruera-

Vielha son depósitos glaciares y para Berga-Cercs es el sustrato rocoso alterado e intervenido antrópicamente. En todos los casos es válido un valor umbral $\theta = 14,5^\circ$.

- El análisis de los factores que contribuyen a la aparición de las roturas, permitió concluir que: a) los movimientos en masa ocurren exclusivamente donde existe formación superficial, donde no hay formación superficial no hay roturas; b) el 80% de las roturas inventariadas ocurren en el rango de 20° a 35° de pendiente topográfica; c) siempre que haya disponibilidad de formación superficial se tiene un comportamiento de incremento del número de roturas y de la cantidad de material movilizado con el incremento de la precipitación; sin embargo, el número de roturas no se incrementa de forma tan marcada con el incremento de la precipitación, como si lo hace la superficie de las roturas; incremento que está acotado por un valor de pendiente topográfica de 55° , debido a que a valores superiores de pendiente topográfica tanto la presencia como el espesor de las formaciones superficiales disminuye, comienza a presentarse de forma discontinua y posteriormente desaparece por completo conformándose las zonas de roquedos.

- A pesar de que el nivel de las precipitaciones registradas en los casos de estudio de Molló-Queralbs y Barruera-Vielha excede con creces la lluvia umbral observada en los Pirineos, la densidad de MM y la superficie de roturas se incrementan con la precipitación, concentrándose la mayor parte de ellas en pendientes topográficas entre 25° y 30° .

- La documentación, reconstrucción y análisis de estos eventos extremos, de los cuales poco se sabe al momento, permiten lograr un mejor entendimiento de las condiciones en que se generan múltiples MM en grandes extensiones geográficas (MORLE), lo cual redundará en futuros análisis de la amenaza relacionada a agentes atmosféricos sobre terrenos montañosos alrededor del mundo.

RECOMENDACIONES y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

- Realizar estudios más detallados en áreas específicas de concentración de roturas, como son los casos de la cuenca de la riera del Feitús y nacimientos de los ríos Ter y Freser (Molló-Queralbs), las zonas de Bono-Senet-Vilaller y Caldes de Boi (Barruera-Vielha) y la Serra de la Petita en Berga-Cercs.
- Es imprescindible la construcción de mapas detallados de formaciones superficiales y la zonificación de los tipos de actividad antrópica, para un mejor análisis de la fenomenología de interés en este tipo de trabajos. Por ejemplo, para determinar con más certidumbre la relación entre los MM y las lluvias generadoras.
- Ante la ocurrencia de un evento lluvioso extremo en una zona de interés es fundamental la documentación rápida de los MM para la construcción de un inventario completo.
- La integración de información primaria apropiada (formaciones superficiales, zonificaciones) con inventarios completos redundará en la determinación de umbrales de lluvias detonantes que son insumos fundamentales para el establecimiento de sistemas de alerta temprana y en la respectiva mitigación del riesgo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACN – Agencia Catalana de Noticias. 05/06/2008.

Agnew, M.D. and Palutikof, J.P. (2000): GIS-based construction of baseline climatologies for the Mediterranean using terrain variables. *Climate Research*, 14, 115-127.

Aleotti, P. (2004): A warning system for rainfall-induced shallow failures, *Engineering Geology* 73 (2004) 247 – 265

Anders, A. (2009): Precipitation patterns and topography. <http://serc.carleton.edu/vignettes/collection/25201.html>. Accesado: 19/06/2010.

Andersson, T. (1981): Bergeron and orogenic (orographic) maxima of precipitation. *PAGEOPH*, Vol. 119 (1980/1981), Birkhäuser Verlag, Basel.

Ardizzone, F., Cardinali, M., Galli, M., Guzzetti, F., and Reichenbach, P. (2007): Identification and mapping of recent rainfall-induced landslides using elevation data collected by airborne Lidar. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 7:637–650

Ashiq, M., Zhao, C., Ni, J., and Akhtar, M. (2010): GIS-based high-resolution spatial interpolation of precipitation in mountain-plain areas of upper Pakistan

for regional climate change impact studies. Theoretical Applied Climatology, 99, 239-253.

Baeza, C. (1994): Evaluación de las condiciones de rotura y la movilidad de los deslizamientos superficiales mediante el uso de técnicas de análisis multivariante. Tesis doctoral. Departamento de Ingeniería del Terreno y Cartográfica, ETSECCPB-UPC.

Basist, A., Bell, G., and Meentemeyer, V. (1994): Statistical relationships between topography and precipitation patterns. Journal of Climate, 7, 1305-1315.

Batlle, M. y Gual, R. (1981): 1940 “L’Aiguat” (Les Inondations de 1940). Copilux, Revue “Terra Nostra”, No. 42, 200p, Montpellier, France.

Baum, R., Coe, J., Godt, J., Harp, E., Reid, M., Savage, W., Schulz, W., Brien, D., Chleborad, A., McKenna, J., and Michael, J. (2005) : Regional landslide-hazard assessment for Seattle, Washington, USA. Landslides 2:266–279.

Brocal, J. (1984): Obras hidráulicas realizadas en el valle de Arán y Alto Ribagorzana. Jornadas sobre inestabilidad de laderas en el Pirineo. Barcelona. I.3.1-I.3.11.

Brú, J. (1980): Las precipitaciones anuales en la cuenca del río Ter. Notas de Geografía Física, 3, pp. 9-21, Barcelona, España.

Brunetti, M., Peruccacci, S., Rossi, M., Luciani, S., Valigi, D., and Guzzetti, F. (2010): Rainfall thresholds for the possible occurrence of landslides in Italy. Natural Hazards and Earth System Sciences, 10, 447–458

Brunsdon, C., McClatchey, J., and Unwin, D. (2001): Spatial variations in the average rainfall-altitude relationship in Great Britain – an approach using geographically weighted regression. International Journal of Climatology, 21, 455-466.

CAC, Climatic Atlas of Catalonia:

http://www.meteocat.com/mediamb_xemec/servmet/, access: 8 October 2009.

Caine, N. (1980): Duration control of shallow landslides and debris flows. Geografiska Annaler, Series A, Physical Geography, Vol. 62, No. 1/2, pp. 23-27.

Cannon, S. and Ellen, S. (1985): Rainfall conditions for abundant debris avalanches in the San Francisco Bay region, California. California Geology 38: 267–272

Cannon, S. and Gartner, J. (2005): Wildfire-related debris flow from a hazards perspective. In: Jakob M, Hungr O (eds) Debris flow hazards and related phenomena. Springer, Berlin, pp 363–385

Corominas, J. (1985): “Els riscos geològics” en Història Natural dels Països Catalans. Volum 3. “Recursos Geològics i sòls”. Fundació Enciclopèdia Catalana. Barcelona pp: 225-270

Corominas, J. (2000): Landslides and climate. In: Bromhead E, Dixon N, Ibsen ML (eds) Keynote lecture of Proceedings of the 8th International Symposium on Landslides. A. A. Balkema, Cardiff, Wales, 4, pp 1–33.

Corominas, J. y Alonso, E. (1984): “Inestabilidad de laderas en el pirineo catalán tipología y causas” E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos U.P.B, Barcelona, 16-17 de enero de 1984

Corominas, J. y Alonso, E. (1990): “Geomorphological effects of extreme floods (November, 1982) in the Southern Pyrenees”. Hydrology in Mountainous Regions. IAHS publ. nº 194, pp: 295-302

Corominas, J. and Moya, J. (1999): Reconstructing recent landslide activity in relation to rainfall in the Llobregat River basin, Eastern Pyrenees, Spain. Geomorphology, 30, 79-93.

Corominas, J. (2006): Estimació de la quantitat de pluja caiguda a les capçaleres dels rius d'Arinsal i riu d'Os els dies 7-8 de novembre de 1982. Nota Tècnica, Departament d'Enginyeria del Terreny, Universitat Politècnica de Catalunya, 21p, Barcelona, España. Informe interno, no publicado.

Corominas, J., Moya, J., and Hürlimann, M. (2002): Landslide rainfall triggers in the Spanish Eastern Pyrenees. Editrice, Mediterranean Storms, Proceedings of the 4th EGS Plinius Conference held at Mallorca, Spain.

Corominas, J., Moya, J., and Hürlimann, M. (2003): Landslide Rainfall Triggers in the Spanish Eastern Pyrenees, Department of Geotechnical Engineering and Geosciences. UPC. Jordi Girona 1-3, D-2 building. 08034 Barcelona, Spain.

Corominas, J., Ayala, F., Cendero, A., Chacón, J., Díaz, J., González, A., Moya, J. y Vilaplana, J. (2005): Riesgo de inestabilidad de laderas. Impactos sobre los riesgos naturales de origen climático; Reporte: Evaluación preliminar de los impactos del cambio climático en España, Ministerio de Medio Ambiente, pp. 549-579.

Corominas, J., van Westen, C., Frattini, P., Cascini, L., Malet, J., Fotopoulou, S., Catani, F., van Den Eeckhaut, M., Mavrouli, O., Agliardi, F., Pitilakis, K., Winter, M., Pastor, M., Ferlisi, S., Tofani, V., Hervás, J., and Smith, J. (2014): Recommendations for the Quantitative Analysis Of Landslide Risk, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 73: 209-263.

Corradini, C. (1985): Analysis of the effects of orography on surface rainfall by a parameterized numerical model. Journal of Hydrology, 77, 19-30.

CREAF - Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (1993): Mapas de coberturas del suelo, formato vectorial estructurado, primera edición, <http://www.creaf.uab.es/mcsc/>.

Crozier, M., and Eyles, R. (1980): Assessing the probability of rapid mass movement Proceedings of 3rd Australian New Zealand Conference on Geomechanics: 2.47-2.53 N.Z. Institute of Engineers, Wellington

Crozier, M., and Preston, N. (1999): Modelling changes in terrain resistance as a component of landform evolution in unstable hill country. In: Hergarten S, Neugebauer H (eds.) Process modelling and landform evolution, lecture notes in Earth Sciences 78, Springer, Berlin, pp 267–284

Crozier, M. (2005): Multiple-Occurrence Regional Landslide Events in New Zealand: Hazard management issues, Springer- Verlag 2005, 247-256

Crozier, M. (2012): Multiple Occurrence Regional Landslide Events. XII Reunión Nacional de Geomorfología, Santander 2012.

Cuadrat, J. y Pita, M. (2009): Climatología. Editorial Cátedra – Colección Geografía, 5ª edición, 496p, Madrid, España.

Chacón, J. y Soria F. (1992): Inventario y caracterización de movimientos de ladera en la vertiente septentrional de Sierra Nevada. III Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. La Coruña. Vol. 1: 149 -160

Chacón, J., Irigaray, C. y Fernandez, T. (1994a): Large to middle scale landslides inventories, analysis and mapping with modelling and assessment of derived susceptibility, hazards and risks in a GIS. 7th International IAEG Congress, Lisboa, Portugal, vol VI, Balkema, Rotterdam, pp. 4669-4678.

Chacón, J., Irigaray, C., El Hamdouni, R., and Fernandez, T. (1996b): From the inventory to the risk analysis: improvements to a large scale G.I.S. method. In: Chacón J, Irigaray C, Fernandez T (eds) Landslides. Balkema, Róterdam, pp. 335-342.

Chacón, J., Irigaray, C., Fernandez, T., El Hamdouni, R. y Lamas, F. (1998): Previsión de zonas inestables en las Cordilleras Béticas: factores determinantes y activadores, inventario de movimientos y análisis de susceptibilidad, peligrosidad y riesgo. I Congreso Andaluz de Carreteras, 10-13, vol II, Granada, España, pp. 1817-1822.

Chacón, J., El Hamdouni, R., Arroyo, J., Irigaray, C., and Fernandez, T. (2001): Slope instability in the north-eastern sector of the Granada basin (Spain): events following recent rainfall (1995-1998). En C. Sáenz de Galeano, A. Peláez y A.C. López Garrido. La Cuenca de Granada: Estructura, Tectónica

Activa, Sismicidad, Geomorfología y Dataciones Existentes. CSIC-Universidad de Granada. pp. 189-197.

Chang, C., Sun, C., and Lay, J. (2006): Integration of radar detection and real time rainfall data for estimation during typhoon period. *Environment and Worlds* 13: 1–22.

Chan, K. (2012): Landslide inventory maps: new tools for an old problem. *Earth Science Review*, 112:42–66.

Changnon, S., Jones, D., and Huff, F. (1975): Precipitation increases in the low hills of southern Illinois – Part 2. Field investigation of anomaly. *Monthly Weather Review*, 103, 830-836.

Cheng, E., and Lau, L. (1970): A preliminary study of the topographic effects upon precipitation in Hawaii – Part I. Technical Memorandum Report No. 23, 17p, Division of Water and Land Development, Department of Land and Natural Resources, State of Hawaii.

Chua, S., and Bras, R. (1982): Optimal estimators of mean areal precipitation in regions of orographic influence. *Journal of Hydrology*, 57, 23-48.

Clarizia, M., Gullá, G., and Sorbino, G. (1996): Sui meccanismi di innesco dei soil slip. *International Conference Prevention of Hydrogeological hazards: the role of scientific research*. 1: 585- 597

Clauset, A., Shalizi, C., and Newman, M. (2009): Power-law distributions in empirical data. *Physics.Data-an*, arXiv: 0706.1062v2.

Crosta, G., and Frattini, P. (2001): Rainfall thresholds for triggering soil slips and debris flow. In: Mugnai A, Guzzetti F, Roth G (eds) *Mediterranean storms. Proceedings of the 2nd EGS Plinius Conference on Mediterranean Storms*. Siena, Italy, pp 463–487

Crosta, G., and Frattini, P. (2003): Distributed modelling of shallow landslides triggered by intense rainfall. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 3(1–2):81–93.

Crozier, M., Glade, T., Wellington, F. and Bonn, C. (1999): Frequency and Magnitude of Landsliding-Fundamental Research Issues. *Z. Geomorph. N.F., Suppl.-Bd.115*, 141-155, Berlin. Stuttgart, 1999.

Daly, C., Neilson, R. and Philips, D. (1994): A statistical-topographic model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain. *Journal of Applied Meteorology*, 33, 140-158.

Daumas, M. (1964): Les creus du 3 Aout 1963 dans les hautes vallees aragonaises et catalanes. *Chronique. Des Pyrénées et du sud-ouest*, 35, 305-310.

Dingman, S., Seely, D., and Reynolds, R. (1988): Application of kriging to estimating mean annual precipitation in a region of orographic influence. *Water Resources Bulletin*, 24 (2), 329-339.

Diodato, N. (2005): The influence of topographic co-variables on the spatial variability of precipitation over small regions of complex terrain. *International Journal of Climatology*, 25, 351-363.

Dominguez, M.; Jiménez, M. y Rodríguez, A. (1999): Press archives as temporal records of landslides in the North of Spain: relationships between rainfall and instability slope events. *Geomorphology*, 30: 125-132

Duckstein, L., Fogel, M., and Thames, J. (1973): Elevation effects on rainfall – a stochastic model. *Journal of Hydrology*, 18, 21-35.

Edwards, A. (2008): Using likelihood to test for Lévy flight search patterns and for general power-law distributions in nature. *Journal of Animal Ecology*, 77, 1212-1222.

Evans, I. (1977): The selection of class intervals. *Transactions of the Institute of British Geographers, New Series*, 2, 1, 98-124.

Fernandez, T., Irigaray, C., y Chacón, J. (1996d): Inventario de movimientos de ladera en el borde Noreste de la Sierra de los Guájares (Granada) mediante un S.I.G. In: Chacón J, Irigaray C (eds) VI Congreso Nacional y Conferencia

Internacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio, Granada, España, vol I, pp. 419-441.

Fernandez, T., Irigaray, C., El Hamdouni, R., Martínez, C., Quesada, D. y Chacón, J. (1998): Predicción de movimientos de ladera asociados a las lluvias del invierno 1996-97 en el sector de Izbor-Vélez de Banaudalla (Granada) en relación con la susceptibilidad del terreno. I Congreso Andaluz de Carreteras 10-13, Granada, Spain, vol II, pp. 1823-1828.

Ferrer, M. y Ayala, F. (1997): Relaciones entre desencadenamiento de movimientos y condiciones meteorológicas para algunos deslizamientos en España. IV Simposio Taludes y Laderas. Granada. Vol. 1: 185-197.

Font, I. (2003): Climatología de España y Portugal. Ediciones Universidad de Salamanca, Colección Biblioteca de las Ciencias, 76, 422p, Salamanca, España.

Finlay, P., Fell, R. and Maguire, P. (1997): The relationship between the probability of landslide occurrence and rainfall. Canadian Geotechnical Journal, 34, 811-824.

França-Amorim, S. (2012): Estudio comparativo de métodos para la evaluación de la susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales: Aplicación al Pirineo Oriental. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña.

Fuentes, J. (2000): Iniciación a la Meteorología y la Climatología. Ediciones Mundi-Prensa, 222p, Madrid, España.

Gallart, F. and Clotet, N. (1988): Some aspects of the geomorphic process triggered by an extreme rainfall event: the November 1982 flood in the Eastern Pyrenees. *Catena Suppl.* 13:75-95.

Garen, D., Johnson, G., and Hanson, C. (1994): Mean areal precipitation for daily hydrologic modeling in mountainous regions. *Water Resources Bulletin*, 30 (3), 481-491.

Gibergans, J. and Llasat, M. (2007): Improvement of the analogue forecasting method by using local thermodynamic data – application to autumn precipitation in Catalonia. *Atmospheric Research*, 86, 173-193.

Gibson, R. (1989): Debris flow in southern Porto Rico. In: Schultz, A.P., Gibson R W. (Eds.), *Landslide Processes of the Eastern United States and Puerto Rico* Geological Society of America Special Paper, vol 236, pp 29-55.

Glade, T., and Crozier, M. (2005): A review of scale dependency in landslide hazard and risk analysis. In: Glade T., Anderson, M., Crozier, M. (eds) *Landslide*. Wiley, London, pp.75-138.

González-Díez, A. (1995): Cartografía de movimientos de ladera y su aplicación al análisis del desarrollo temporal de los mismos y de la evolución del paisaje. Tesis Doctoral inédita. Universidad de Oviedo. 415 pp. y anexos.

González-Díez, L., Diaz de Terán, J. y Cendrero, A. (1996): Late Quaternary climate changes and mass movement frequency and magnitude in the Cantabrian region, Spain. *Geomorphology*, 15: 291-309.

González-Díez, A., Remondo, J., Diaz de Terán, J., and Cendrero, A. (1999): A methodological approach for the analysis of the temporal occurrence and triggering factors of landslides. *Geomorphology*, 30: 95-113.

González-Díez, A., Remondo, J. y Cendrero, A. (2005): Consideraciones sobre la relación entre movimientos de ladera y clima. VI Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables, Valencia, Spain. Vol. 3: 1103-1130.

Goovaerts, P. (1999): Using elevation to aid the geostatistical mapping of rainfall erosivity. *Catena*, 34, 227-242.

Goovaerts, P. (2000): Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. *Journal of Hydrology*, 228, 113-129.

Grabowski, W. (1989): On the influence of small-scale topography on precipitation. *Quarterly Journal Research of Meteorological Society*, 115, 633-650.

Guan, H., Wilson, J., and Xie, H. (2009): A cluster-optimizing regression-based approach for precipitation spatial downscaling in mountainous terrain. *Journal of Hydrology*, 375, 578-588.

Guan, H., Wilson, J., and Makhnin, O. (2005): Geostatistical mapping of mountain precipitation incorporating auto searched effects of terrain and climatic characteristics. *Journal of Hydrometeorology*, 6, 1018-1031.

Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M., and Stark, C. (2007): Rainfall thresholds for the initiation of landslides in central and southern Europe, *Meteorol. Atmos. Phys.* (2007), DOI 10.1007/s00703-007-0262-7, printed in The Netherlands

Guzzetti, F., Malamud, B., Turcotte, D., and Reichenbach, P. (2002): Power-law correlations of landslide areas in central Italy. *Earth and Planetary Science Letters*, 195, 169-183.

Guzzetti, F., Mondini, A., Cardinali, M., Fiorucci, F., and Santangelo, M. (2012): Landslide inventory maps: new tools for an old problem. *Earth Science Review* 112:42-66.

Haan, C. (1982): Statistical Methods in Hydrology. Third Printing, The Iowa State University Press, Ames (Iowa), USA, 378p.

Hay, L., Branson, M., and Leavesly, G. (1991): The effects of scale on precipitation estimates from an orographic precipitation model. American Geophysical Union Fall Meeting. Program and Abstracts. San Francisco, USA.

Hay, L., Viger, R., and McCabe, G. (1998): Precipitation interpolation in mountainous regions using multiple linear regressions. Hydrology, Water Resources and Ecology in Headwaters, Proceedings of the HeadWater'98 Conference, Meran, Italy, IAHS Publication No. 248, 33-38.

Henry, A. (1919): Increase of precipitation with altitude. Monthly Weather Review, 47, 33-41.

Hevesi, J., Istok, J., and Flint, A. (1992a): Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics. Part I: Structural analysis. Journal of Applied Meteorology, 31, 661-676.

Hevesi, J., Istok, J., and Flint, A. (1992b): Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics. Part II: Isoheta maps. Journal of Applied Meteorology, 31, 677-688.

Hobbs, P., Houze, R., and Matejka, T. (1975): The dynamical and microphysical structure of an occluded frontal system and its modification by orography. Journal of the Atmospheric Sciences, 32, 1542-1562.

Hungr, O., Evans, S., and Hazard, J. (1999): Magnitude and frequency of rock falls and rock slides along the main transportation corridors of south-western British Columbia. *Canadian Geotechnical Journal*, 36, 224-238.

Hürlimann, M., Corominas, J., and Moya, J. (2003): Debris-flow events in the eastern Pyrenees Preliminary study on initiation and propagation, Department of Geotechnical Engineering and Geosciences, Technical University of Catalonia (UPC), Barcelona, Spain, Copons. R, Euroconsult Andorra S.A., Andorra la Vella, Andorra.

Hürlimann, M., Rickenmann, D., Medina, V., and Bateman, A. (2009): Evaluation of approaches to calculate debris-flow parameters for hazard assessment, Contents lists available at Science Direct,

Hutchinson, M. (1995): Interpolating mean rainfall using thin plate smoothing splines. *International Journal of Geographical Information Systems*, 9 (4), 385-403.

Hyndman, R. (1995): The problem with Sturges' rule for constructing histograms. Department of Econometrics and Business Statistics, Monash University, Clayton, Victoria, Australia.

ICC, Institut Cartogràfic de Catalunya (2007): Base Topogràfica de Catalunya 1:5.000 Versió 2.0. Barcelona, España.

ICC, Institut Cartogràfic de Catalunya (2008): Ortofotomapa de Catalunya 1:5.000 Versió 5.0. Barcelona, España.

ICC, Institut Cartogràfic de Catalunya: http://www.icc.cat/vissir2/?lang=ca_ES&toponim=,
Febrero 23 de 2010.

Irigaray, C., Fernandez, T. y Chacón, J. (1994): GIS landslide inventory and analysis of determinant factors in the sector of Rute (Córdoba, Spain). In: Oliveira, Rodríguez, Coelho, Cunha (eds). 7th International IAEG Congress, Lisboa, Portugal, vol VI, Balkema, Rotterdam, pp.4569-1668.

Irigaray, C. (1995): Movimientos de ladera: Inventario, análisis y cartografía de susceptibilidad mediante un G.I.S. Aplicación a las zonas de Colmenar (Málaga), Rute (Córdoba y Montefrío (Granada). Tesis Doctoral. Universidad de Granada.

Irigaray, C., Lamas, F., El Hamdouni, R., Fernandez, T. y Chacón, J. (2000): The importance of precipitation and the susceptibility of the slopes for the triggering of landslides along the roads. Natural Hazards, 21 (1): 65-81.

ITGE, Instituto Tecnológico GeoMinero de España (1994): Mapa geológico de España, Escala 1:50.000. Segunda serie – Primera edición: 217 (36-10, Puigcerdà), 218 (37-10, Molló), 255 (36-11, La Pobla de Lillet) y 256 (37-11, Ripoll). Madrid, España.

Iverson, R. (2000): Landslide triggering by rain infiltration, U.S. Geological Survey, Vancouver, Washington, Water Resources Research, Vol. 36, No. 7, Pages 1897–1910

James, A. and Plank, M. (2007): On fitting power laws to ecological data. Q-bio.QM, arXiv: 0712.0613v1.

Johnson, G. and Hanson, C. (1995): Topographic and atmospheric influences on precipitation variability over a mountainous watershed. Journal of Applied Meteorology, 34, 68-87.

Kieffer, W. and Bois, P. (2001): Topographic effects on statistical characteristics of heavy rainfall and mapping in the French Alps. Journal of Applied Meteorology, 40, 720-740.

Lalanne, G. (1990): Tentative de reconstitution et d'analyse de la crue de 1940 sur le Tech. Colloque "l'Aiguat del 40", Vernet les bains, 18-19-20 Octobre 1990, Aspects méthodologiques de la reconstitution des écoulements des grandes crues catastrophiques, Centre de recerques i d'estudis catalans, pp. 9-18.

Larsen, M. and Simon, A. (1993): A rainfall intensity-duration threshold for landslides in a humid-tropical environment, Puerto Rico. Geografiska Annaler, 75 A (1-2), pp. 23-27.

Lee, C. (1911): Precipitation and altitude in the Sierra. Monthly Weather Review, 1092-1099.

Limpert, E., Stahel, W., and Abbot, M. (2001): Log-normal distributions across the sciences – keys and clues. Bioscience, 51, 5, 341-352.

Llasat, M., Barriendos, M., Barrera, A. y Rigo, T. (2005): Climatological and meteorological aspects from historical documentary sources and old instrumental records, Floods in Catalonia (NE Spain) since the 14th century, Department of Astronomy and Meteorology, Faculty of Physics, University of Barcelona. Journal of Hydrology 313, pp.32–47

Loukas, A. and Quick, M. (1993): Rain distribution in a mountainous watershed. Nordic Hydrology, 24, 225-242.

Lu, P., Stumpf, A., Kerle, N., and Casagli, N. (2011): Object-oriented change detection for landslide rapid mapping. IEEE Geosci Remote Sens Lett 99:701–705

Malamud, B. (2004): Calculated risks – Power laws and natural hazards. Physics World, 17, 8, 31-35.

Malamud, B., Turcotte, D., Guzzetti F., and Reichenbach, P. (2004a): Landslide inventories and their statistical properties. Earth Surface Processes and Landforms, 29, 687-711.

Malamud, B., Turcotte, D., Guzzetti, F. and Reichenbach, P. (2004b): Landslides, earthquakes, and erosion. *Earth Planetary Science Letters*, 229, 45-59.

Malamud, B. and Turcotte, D. (2006): An inverse cascade explanation for the power-law frequency-area statistics of earthquakes, landslides and wildfires. *Geological Society of London, Special Publications*, 261, 1-9.

Marco, LI. (2007): Determinació de llindars de pluja desencadenants d'esllavissades a Catalunya. Tesina de Grado, 150p. Departamento de Ingeniería del Terreno, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.

Marquès, M., Martín, E. y Gascón, M. (2001): Episodio extremo y distribución espacial de movimientos de laderas en Montserrat (Barcelona, España). V Simposio Taludes y Laderas Inestables. Madrid. Vol. 3: 1315-1326.

Marquínez, J., Lastra, J., and García, P. (2003): Estimation models for precipitation in mountainous regions – the use of GIS and multivariate analysis. *Journal of Hydrology*, 270, 1-11.

Martha, T., Kerle, N., Jetten, V., van Westen, C., and Kumar, K. (2010a): Characterising spectral, spatial and morphometric properties of landslides for

semi-automatic detection using object-oriented methods. *Geomorphology* 116(1–2):24–36

Martha, T., Kerle, N., Jetten, V., van Westen C., and Kumar, K. (2010b): Landslide volumetric analysis using Cartosat-1-derived DEMs. *Geosciences Remote Sensor Lett* 7(3):582–586

Martínez, A. (1996): Multivariate geostatistical analysis of evapotranspiration and precipitation in mountainous terrain. *Journal of Hydrology*, 174, 19-35.

Mateos, R. (2001): Los movimientos de ladera en la Sierra de Tramuntana (Mallorca). Caracterización geomecánica y análisis de peligrosidad. Tesis Doctoral. Inédita. Universidad Complutense de Madrid.

Mateos, R., García-Moreno, I., and Azañón, J. (2012): Freeze-thaw cycles and rainfall as triggering factors of mass movements in a warm Mediterranean region: the case of the Tramuntana Range (Majorca, Spain). *Landslides*, 9: 417-432.

Mateos, R., García-Moreno, I., Herrera, G., and Mulas, J. (2013): Recent mass movements in the Tramuntana range (Mallorca, Spain). *Landslide Science and Practice*. Claudio Margottini, Paolo Canuti and Kyoji Sassa (Editors). Volume 4: Global Environmental Change. 27-37.

Mathwave (2014): <http://www.mathwave.com/es/home.html>

Météo-France (2001): Pluies extrêmes sur le sud de la France.

http://www.langedoc-rousillon.ecologie.gouv.fr/meteocdrom/pdf/19401016_5J.pdf

(Accesado: 02/12/2009).

Michoud, C., Abellán, A., Derron, M., Jaboyedoff, M. (eds.) (2010):

SafeLand Deliverable D4.1: review of techniques for landslide detection, fast characterization, rapid mapping and long-term monitoring. Available at: <http://www.safeland-fp7.eu/>

Mink, J. (1960): Distribution pattern of rainfall in the leeward Koolau Mountains, Oahu, Hawaii. Journal of Geophysical Research, 65 (9), 2869-2876.

Mondini, A., Guzzetti, F., Reichenbach, P., Rossi, M., Cardinali, M., and Ardizzone, M. (2011): Semiautomatic recognition and mapping of rainfall induced shallow landslides using optical satellite images. Remote Sensing Environmental 115(7):1743–1757

Moya, J. (2002): Determinación de la edad y de la periodicidad de los deslizamientos en el pre-Pirineo oriental. Tesis Doctoral. Inédita., Univ. Politècnica de Catalunya, 248 pp.

Moya, J. y Corominas, J. (1997): Condiciones pluviométricas desencadenantes de deslizamientos en el Pirineo Oriental. IV Simposio Taludes y Laderas. Granada. Vol. 1: 199-212.

Newman, M. (2005): Power laws, Pareto distributions and Zipf's law. Contemporary Physics, 46, 5, 323-351.

Niethammer, U., James, M., Rothmund, S., Travelletti, J. and Joswig, M. (2011): Very high spatial resolution monitoring of the Super Sauze landslide with an UAV based remote sensing technique. Engineering Geology. Doi: 101016/j.enggeo201103012

Ninyerola, M., Pons, X., and Roure, J. (2000): A methodological approach of climatological modelling of air temperature and precipitation through GIS techniques. International Journal of Climatology, 20, 1823-1841.

Ninyerola, M., Pons, X., and Roure, J. (2007): Monthly precipitation mapping of the Iberian Peninsula using spatial interpolation tools implemented in a Geographic Information System. Theoretical and Applied Climatology, 89, 195-209.

Novoa, M. (1984): Precipitaciones y avenidas extraordinarias en Catalunya, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos, UPB, Barcelona, 16-17 de Enero de 1984.

O'Hare, G. and Sweeney, J. (1986): The atmospheric system (Conceptual frameworks in Geography). Longman Group United Kingdom, 208p, Edimburg, Scotland.

Oki, T., Musiake, K., and Koike, T. (1991): Spatial rainfall distribution at a storm event in mountainous regions, estimated by orography and wind direction. *Water Resources Research*, 27 (3), 359-369.

Orlaski, I. (1975): A rational subdivision of scales for atmospheric processes. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 56 (5), 527-530.

Osborn, H. (1984): Estimating precipitation in mountainous regions. *Journal of Hydraulique Engineering*, 110 (12), 1859-1863.

Pardé, M. (1941): La formidable crue d'Octobre 1940, dans les Pyrénées-Orientales. *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, Tome 12, Fascicule 3, pp. 237-280.

Pardo, E. (1998): Comparison of geostatistical methods for estimating the areal average climatological rainfall mean using data on precipitation and topography. *International Journal of Climatology*, 18, 1031-1047.

Peck, E. and Brown, M. (1962): An approach to the development of isohyetal maps for mountainous areas. *Journal Geophysical Research*, 67 (2), 681-694.

Phillips, D., Dolph, J., and Marks, D. (1992): A comparison of geostatistical procedures for spatial analysis of precipitation in mountainous terrain. *Agricultural and Forest Meteorology*, 58, 119-141.

Pockels, F. (1981): The theory of the formation of precipitation on mountain slopes. *Monthly Weather Review*, 29, 152-159.

Portalés, C., Boronat, N. y Pardo, J. (2008): Un nuevo método para el cálculo de precipitaciones medias mediante técnicas de interpolación geoestadística considerando las características geográficas y topográficas del territorio. Congreso Internacional de Ingeniería Geomática y IX Congreso Nacional TOP-CART, pp. 1-8, Valencia, España.

Portilla, M., Chevallier, G. and Hürlimann, M. (2010): Description and analysis of debris flows occurred during 2008 in the Eastern Pyrenees. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, pp.1635-1345.

Preston, N. (2008): Multiple Occurrence regional landslide events: a complex and simple response to land use change, *Geophysical Research Abstracts Vol 10 EGU2008-A-06213*, 2008

Prudhomme, C. and Reed, D. (1998): Relationships between extreme daily precipitation and topography in a mountainous region – A case study in Scotland. *International Journal of Climatology*, 18, 1439-1453.

Prudhomme, C. and Reed, D. (1999): Mapping extreme rainfall in a mountainous region using geostatistical techniques – A case study in Scotland. *International Journal of Climatology*, 19, 1337-1356.

Pueyo, S. (2006): Diversity - between neutrality and structure. *Oikos*, 112, 392-405.

Raïmat, C., Hürlimann, M., Corominas, J. y Moya, J. (2012): Reconstrucción de la frecuencia de corrientes de derrubios en el barranco de Erill (Lleida). En A. González-Díez (coordinador). *Actas de la XII Reunión Nacional de Geomorfología*, Santander. pp. 77-80

Ranhao, S., Baiping, Z., and Jing, T. (2008): A multivariate regression model for predicting precipitation in the Daqing Mountains. *Mountain Research and Development*, 28 (3/4), 318-325.

Razak, K., Straatsma, M., van Westen, C., Malet, J., and de Jong, S. (2011): Airborne laser scanning of forested landslides characterization: terrain model quality and visualization. *Geomorphology* 126:186–200

Reichenbach, P., Guzzetti, F., Malamud, B., and Turcotte, D. (2002): Comparison of two landslide triggering events using frequency-area statistics. *Consiglio Nazionale delle Ricerche: Proceedings of the 3rd EGS Plinius Conference held at Baja Sardinia, Italy, October 2001.*

Remondo, J. (2001): Elaboración y validación de mapas de susceptibilidad de deslizamientos mediante técnicas de análisis espacial. Tesis Doctoral, Universidad de Oviedo.

Ribes, J. (1982): Haut et Moyen Vallespir, Au fil du temps. Le cataclisme de 1940, pp. 70-190, Perpignan, France.

Rico, M., Benito, G., and Barnolas, A. (2001): Paleoflood and rainfall-runoff assessment of mountain floods (Spanish Pyrenees) *Journal of Hydrology* 245 (2001) 5972.

Roe, G. (2005): Orographic precipitation. *Annual Review of Earth Planetary Sciences*, 33, 645-671.

Santacana, N. (2001): Análisis de la susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos mediante el uso de sistemas de información geográfica. Aplicación a la cuenca alta del río Llobregat Tesis doctoral. Departamento de Ingeniería del Terreno y Cartográfica ETSECCPB-UPC.

Scott, D. (1979): On optimal and data-based histograms. *Biometrika*, 66, 3, 605-610.

Sims, D., Righton, D., and Pitchford, J. (2007): Minimizing errors in identifying Lévy flight behaviour of organisms. *Journal of Animal Ecology*, 76, 222-229.

Singh, P., Ramasastri, K., and Kumar, N. (1995): Topographical influence on precipitation distribution in different ranges of western Himalayas. *Nordic Hydrology*, 26, 259-284.

Smith, R. (1979): The influences of mountains on the atmosphere. *Advances in Geophysics*, 21, 87-230.

Smith, R. (2006): Progress on the theory of orographic precipitation. *Geological Society of America, Special Paper 398*, 16p.

Smith, R. and Barstad, I. (2004): A linear theory of orographic precipitation. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 15 June, 1377-1391.

Soutadé, G. (1993): Les inondations d'octobre 1940 dans les Pyrénées-Orientales. Perpinyà: Conseil général, Direction des archives départementales, 1993, p. 351. ISBN 978-2-86066-025-9.

Spreen, W. (1947): A determination of the effect of topography upon precipitation. *Transactions, American Geophysical Union*, 28 (2), 285-290.

Stumpf, A., Malet, J., and Kerle, N. (2011): SafeLand deliverable D4.3: creation and updating of landslide inventory maps, landslide deformation maps and hazard maps as inputs for QRA using remote sensing technology. Available at <http://www.safeland-fp7.eu/>

Suzuki, Y., Nakakita, E., Hasebe, M., and Ikebuchi, S. (2004): Study on rainfall-topography relationships in Japan with regard to the spatial scale of mountain slopes. Sixth International Symposium on Hydrological Applications of Weather Radar, 2-4 February 2004, 8p, Melbourne, Australia.

SMC, Server Meteorològic de Catalunya (2010):

http://www.meteocat.com/mediamb_xemec/servmet/pagines/atles/ACC%2061-90/11_Precipitacio_octubre.htm, Accesado: Febrero 25 de 2010.

Taher, S. and Alshaikh, A. (1998): Spatial analysis of rainfall in southwest of Saudi Arabia using GIS. Nordic Hydrology, 29 (2), 91-104.

Travelletti, J., Malet, J., Schmittbuhl, J., Toussaint, R., Delacourt, C., and Stumpf, A. (2010): A multi-temporal image correlation method to characterize landslide displacement. Ber Geol B-A 82 :50-57.

Triplet, J., et Roche, G. (1977): Météorologie Générale. 3ème édition, Documentation Française (La), 317p, Meteo-France, París, Francia.

T.S.V.P. (1940): Suite du Rapport sur les inondations du 17 8^{bre}-1940. Ecole de St Laurent de Cerdans (Pyr. M.). <http://www.languedoc-roussillon.ecologie.gouv.fr/meteocdrom/bibliographie/soutade.jpg> (Accesado: 02/12/2009).

Turcotte, D., Malamud, B., Guzzetti, F., and Reichenbach, P. (2002): Self-organization, the cascade model, and natural hazards. PNAS, 99, 2530-2537.

Turcotte D., Malamud, B., Guzzetti, F., and Reichenbach, P. (2005): A general landslide distribution: further examination. *Landslide Risk Management* – Hungr, Fell, Couture and Eberhardt (eds), Taylor & Francis Group, London, 675-680.

Turcotte, D., Malamud, B., Guzzetti, F., and Reichenbach, P. (2006): A general landslide distribution applied to a small inventory in Todi, Italy. *Fractal Analysis for Natural Hazards*, Geological Society, London, Special Publications, 261, 105-111.

Van Westen, C., Castellanos, E., and Kuriakose, S. (2008): Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. *Engineering Geology* 102: 112-131; DOI: 10.1016/j.enggeo.2008.03.010.

Vicente, S., Saz, M., and Cuadrat, J. (2003): Comparative analysis of interpolation methods in the middle Ebro Valley (Spain) – application to annual precipitation and temperature. *Climate Research*, 24, 161-180.

Visauta, V. (2007): Análisis estadístico con SPSS 14, estadística básica. Tercera Edición, Editorial McGraw-Hill Interamericana de España, S.A.U. 281p., Madrid, España.

White, E., Enquist, B., and Green, J. (2008): On estimating the exponent of power-law frequency distributions. *Ecology*, 89, 4, 905-912.

Wieczorek, G. (1987): Effect of rainfall intensity and duration on debris flows in central Santa Cruz Mountains, California. Geological Society of America, Reviews in Engineering Geology, Volume VII, pp. 93-104.

Wilson, R. (1997): Normalizing rainfall/debris-flow thresholds along the U.S. Pacific coast for long-term variations in precipitation climate, Proceedings of the First International Conference on Debris-Flow Hazard Mitigation, ed. Chen, C.L., Hydraulics Division, American Society of Civil Engineers, San Francisco, pp. 32-43.

Wilson, R. (2000): Climatic variations in rainfall thresholds for debris-flow activity. Mediterranean Storms, Proceedings of the EGS Plinius Conference held at Maratea, Italy.

Wilson, R. and Wieczorek, G. (1995): "Rainfall thresholds for the initiation of debris flows at La Honda, California". Environmental & Engineering Geoscience, 1: 11-27.

Wotling, G., Bouvier, C., Danloux, J., and Fritsch, J. (2000): Regionalization of extreme precipitation distribution using the principal components of the topographical environment. Journal of Hydrology, 233, 86-101.

Wu, T., Tang, W., and Einstein, H. (1995): Landslide hazard and risk assessment. In: Turner AT, Schuster RL (eds) Landslides investigation and

mitigation. Transportation Research Board Special Report no. 247. National Academy Press, Washington, DC, pp 106–118.

Zêzere, J., Trigo. R., and Trigo, I. (2005): Shallow and deep landslides induced by rainfall in the Lisbon region (Portugal): assessment of relationships with the North Atlantic Oscillation Natural Hazards and Earth System Science 5 (3), 331-344.

ANEXOS

Anexo 1. Inventario preliminar de eventos lluviosos y movimientos en masa (Cataluña y Andorra).

Número	Fuente	Nombre / Torrente	Localización			Fecha del Evento
			Municipio	E (X) m	N (Y) m	
1	IGEOTEST (2008)	Barranc d'Enseu	Gerri de la Sal	342636	4688468	1903
2	Marco (2007)	Barranc de Bono	Bono	312836	4712271	Octubre/1937
3	Hürlimann et al (2003)	Serra de la Fembra Morta	Camprodon	446983	4691424	Octubre/1940
4	Corminas y Alonso (1984)	Barranc de la Baixada	Senet	317285	4714054	2/Agosto/1963
5	Geoconsultores (2008)	Barranc de Casau	Vielha e Mijaran	317782	4730464	2/Agosto/1963
6	Battle (1984)	Cabdella	La Tore de Cabdella	334857	4704902	5-8/Octubre/1982
7	Clotet i Gallart (1984)	Torrent Forcat	Gósol	387700	4673800	6-8/Noviembre/1982
8	Clotet i Gallart (1984)	Ribera de Cal Canonge (la Maçana)	La Coma i La Pedra	387600	4671300	6-8/Noviembre/1982
9	Clotet i Gallart (1984)	Torrent d'Urdebell (Torrent dels Morers)	Gósol	388400	4673900	6-8/Noviembre/1982
10	Clotet i Gallart (1984)	Font de la Rebasta (Torrent d'Urdebell)	Gósol	388400	4673700	6-8/Noviembre/1982
11	Clotet i Gallart (1984)	Torrent de Paller	Saldes	393800	4680700	6-8/Noviembre/1982
12	Clotet i Gallart (1984)	Torrent de Ferrús	Fígols	396500	4670200	6-8/Noviembre/1982
13	Clotet i Gallart (1984)	Torrent del Palancó	Saldes	397800	4675500	6-8/Noviembre/1982
14	Clotet i Gallart (1984)	Torrers de l'Artiga (Murcurols)	Gliscareny	399600	4679900	6-8/Noviembre/1982
15	Clotet i Gallart (1984)	Torrers de l'Artiga (Murcurols)	Gliscareny	399600	4679900	6-8/Noviembre/1982
16	Clotet i Gallart (1984)	Torrent d'Esquers (Cal Noguera)	Saldes	399600	4674900	6-8/Noviembre/1982
17	Clotet i Gallart (1984)	Afluente del Torrent del Puig (Els Catellots)	Gliscareny	400700	4679300	6-8/Noviembre/1982
18	Clotet i Gallart (1984)	Afluente del Torrent de l'Esdabella (Cal Caixo)	Vallcebre	400900	4673600	6-8/Noviembre/1982
19	Clotet i Gallart (1984)	Torrent del Coll de Fumanya (La Pedra Ronyosa)	Vallcebre	400800	4671200	6-8/Noviembre/1982
20	Clotet i Gallart (1984)	Torrent del Coll de Fumanya (Roques d'Empalomar)	Vallcebre	401400	4672200	6-8/Noviembre/1982
21	Clotet i Gallart (1984)	Torrent de les Abeurades (Sant Martí del Puig)	Gliscareny	402100	4680200	6-8/Noviembre/1982
22	Clotet i Gallart (1984)	Torrent de la Font de Baix (Vilella)	Gliscareny	402000	4678100	6-8/Noviembre/1982
23	Clotet i Gallart (1984)	Afluente del Riu Saldes (Rocadecans)	Gliscareny	403200	4677700	6-8/Noviembre/1982
24	Clotet i Gallart (1984)	Afluente del Riu Saldes (Cal Noguera)	Gliscareny	403900	4676300	6-8/Noviembre/1982
25	Clotet i Gallart (1984)	Afluente del Torrent de Vallcebre (Cal Bassenc)	Vallcebre	403800	4673800	6-8/Noviembre/1982
26	Clotet i Gallart (1984)	Afluente del Torrent de Vallcebre (La Collada)	Vallcebre	403800	4671300	6-8/Noviembre/1982
27	Clotet i Gallart (1984)	La Coma Escuda	Fígols	403800	4671100	6-8/Noviembre/1982
28	Clotet i Gallart (1984)	Afluente del Riu de Saldes (Les Pasteres)	Guardiola de Berguedà	405500	4675500	6-8/Noviembre/1982
29	Clotet i Gallart (1984)	Barranc de Soldevila	Guardiola de Berguedà	405500	4673500	6-8/Noviembre/1982
30	Clotet i Gallart (1984)	Afluente del Torrent del Jou	Guardiola de Berguedà	405500	4673200	6-8/Noviembre/1982
31	Clotet i Gallart (1984)	Afluente del Torrent Llarg (Font de Ginebre)	Vallcebre	405000	4672600	6-8/Noviembre/1982
32	Clotet i Gallart (1984)	Canal Mala (Torrent de Paller)	Bagà	408200	4681100	6-8/Noviembre/1982
33	Clotet i Gallart (1984)	Torrent de Brocà (Sant Marc de Brocà)	Guardiola de Berguedà	409200	4679600	6-8/Noviembre/1982
34	Clotet i Gallart (1984)	Afluente del Llobregat (Cal Sobirana, Vilella)	Guardiola de Berguedà	409900	4678400	6-8/Noviembre/1982
35	Clotet i Gallart (1984)	Afluente del Riutort (Serra de la Tosca)	Guardiola de Berguedà	410600	4678500	6-8/Noviembre/1982
36	Clotet i Gallart (1984)	Afluente del Llobregat (Vilella)	Guardiola de Berguedà	410200	4677900	6-8/Noviembre/1982
37	Clotet i Gallart (1984)	Font del Racò (Les Espinedes, Torrent del Malenyueu)	La Nou de Berguedà	410200	4672700	6-8/Noviembre/1982
38	Clotet i Gallart (1984)	Font de la Roca Encantada (Cabanelles, Ribera del Castell)	Castell de l'Areny	411300	4671800	6-8/Noviembre/1982
39	Clotet i Gallart (1984)	Torrent d'Erols	Castellar de n'Hug	413800	4680200	6-8/Noviembre/1982
40	Clotet i Gallart (1984)	Torrent de la Font del Blada	La Pobla de Lillet	413000	4676500	6-8/Noviembre/1982
41	Clotet i Gallart (1984)	Afluente del Torrent de la Molina	Castellar de n'Hug	414700	4680200	6-8/Noviembre/1982
42	Clotet i Gallart (1984)	Afluente Izquierdo del Llobregat (Pla del Tinar)	La Pobla de Lillet	414800	4677200	6-8/Noviembre/1982

43	Clotet i Gallart (1984)	Afluente Izquierdo del Llobregat (Serrat del Bous)	La Pobla de Lillet	414200	4676800	6-8/Noviembre/1982
44	Clotet i Gallart (1984)	Font de les Guilles (Cortines, Riera de Camp-rubi)	Les Llosses	416700	4671700	6-8/Noviembre/1982
45	Clotet i Gallart (1984)	Afluente Derecho de l'Arija (El Bruc)	La Pobla de Lillet	417600	4678900	6-8/Noviembre/1982
46	Clotet i Gallart (1984)	S del Puig (l'Arija)	La Pobla de Lillet	417800	4677200	6-8/Noviembre/1982
47	Clotet i Gallart (1984)	Torrent del Junyent (Sant Miquel)	La Pobla de Lillet	417000	4677100	6-8/Noviembre/1982
48	Clotet i Gallart (1984)	Afluente Izquierdo de l'Arija (Els Emprius)	La Pobla de Lillet	417700	4676900	6-8/Noviembre/1982
49	Clotet i Gallart (1984)	Torrent del Junyent (Castell de Lillet)	La Pobla de Lillet	417000	4676700	6-8/Noviembre/1982
50	Clotet i Gallart (1984)	Barranc de Suronell (Llobateres, Riera de Camp-rubi)	Les Llosses	417000	4670900	6-8/Noviembre/1982
51	Clotet i Gallart (1984)	Afluente de l'Arija (Les Rovires Negres)	Castellar de n'Hug	419900	4679900	6-8/Noviembre/1982
52	Clotet i Gallart (1984)	Rec de la Muga (La Muga, Torrent de Montverdor)	La Pobla de Lillet	419200	4678500	6-8/Noviembre/1982
53	Clotet i Gallart (1984)	Afluente Derecho del Torrent de Montverdor (Sollet de La Muga)	La Pobla de Lillet	419000	4677800	6-8/Noviembre/1982
54	Clotet i Gallart (1984)	Torrent de Montverdor (Collet de Monverdor)	La Pobla de Lillet	419600	4677400	6-8/Noviembre/1982
55	Clotet i Gallart (1984)	Afluente Derecho de Rec de Merolla (Merolla)	Gombrèn	420500	4678000	6-8/Noviembre/1982
56	Clotet i Gallart (1984)	Rec del Coll de l'Arc (l'Arija)	Gombrèn	421300	4677000	6-8/Noviembre/1982
57	Clotet i Gallart (1984)	Rec de Caselles (Corrubí)	Les Llosses	422200	4673600	6-8/Noviembre/1982
58	Clotet i Gallart (1984)	Rasa de Torroella (Tossal de la Creu del Codó)	Guixers	380600	4665700	6-8/Noviembre/1982
59	Clotet i Gallart (1984)	Rasa de Torroella (Tossal de Vall-llonga)	Guixers	382300	4664700	6-8/Noviembre/1982
60	Clotet i Gallart (1984)	Afluente Izquierdo del Cardener (Font Puda, Serrat del Jou, La Pedra)	La Coma i La Pedra	384500	4668500	6-8/Noviembre/1982
61	Clotet i Gallart (1984)	Afluente Derecho del Riuet de La Pedra (Castell de La Pedra, La Pedra)	La Coma i La Pedra	385100	4669200	6-8/Noviembre/1982
62	Clotet i Gallart (1984)	Afluente Derecho del Aigua d'Ora (Bosc de l'Espunya, Riudora)	Navès	389000	4658500	6-8/Noviembre/1982
63	Clotet i Gallart (1984)	Afluente Derecho de la Rasa de la Boixedera (Costa del Mercadal)	L'Espunyola	393700	4658200	6-8/Noviembre/1982
64	Clotet i Gallart (1984)	Torrent dels Porxos (La Cabana, Els Porxos)	Castellar del Riu	397700	4665200	6-8/Noviembre/1982
65	Clotet i Gallart (1984)	Afluente Izquierdo del Castellar (El Casalot, Castellar del Riu)	Castellar del Riu	398700	4664700	6-8/Noviembre/1982
66	Clotet i Gallart (1984)	Torrent del Pla de Campllong (El Pouet, Cogulló d'Estela)	Castellar del Riu	399900	4663300	6-8/Noviembre/1982
67	Clotet i Gallart (1984)	N del Casco Urbano de Vilada (Cap de la Vinya)	Vilada	411800	4665900	6-8/Noviembre/1982
68	Clotet i Gallart (1984)	Torrent de la Maçana (Cap de la Baga del Castell, La Maçana)	Borredà	419700	4667200	6-8/Noviembre/1982
69	Baeza (1994)	La Matella	Fígols	402877	4670935	6-8/Noviembre/1982
70	Baeza (1994)	Planers (El Port del Compte)	La Coma i La Pedra	381762	4673388	6-8/Noviembre/1982
71	Baeza (1994)	Font Salada (L'Estany)	Cercs	401503	4665485	6-8/Noviembre/1982
72	Baeza (1994)	Afluente del Torrent de les Comes	La Pobla de Lillet	416702	4677974	6-8/Noviembre/1982
73	Baeza (1994)	N de Carena de Comes	La Pobla de Lillet	416556	4679166	6-8/Noviembre/1982
74	Baeza (1994)	Torrent de Bosoms	Vallcebre	403615	4674416	6-8/Noviembre/1982
75	Baeza (1994)	Afluente Mina del Durruti del Riu de Saldes	Guardiola de Berguedà	405563	4674967	6-8/Noviembre/1982
76	Baeza (1994)	Clot de Coma d'Adell (El Port del Compte)	La Coma i La Pedra	382109	4671748	6-8/Noviembre/1982
77	Baeza (1994)	La Comarca (Torrent de les Salines)	Sant Llorenç de Morunys	379860	4666619	6-8/Noviembre/1982
78	Baeza (1994)	Rasa de Coma Furosa (El Port del Compte)	La Coma i La Pedra	381290	4673260	6-8/Noviembre/1982
79	Baeza (1994)	El Mosoll (La Maçana)	La Coma i La Pedra	387488	4669651	6-8/Noviembre/1982
80	Baeza (1994)	El Mosoll (La Maçana)	La Coma i La Pedra	387768	4669701	6-8/Noviembre/1982
81	Baeza (1994)	Roca d'Auró - Pla de la Basa	Castellar del Riu	400533	4665430	6-8/Noviembre/1982
82	Baeza (1994)	Torrent del Coll de Port	Josa i Tuixen	380506	4674525	6-8/Noviembre/1982
83	Baeza (1994)	El Mur del Gran (Coll de Port)	Josa i Tuixen	380196	4674634	6-8/Noviembre/1982
84	Baeza (1994)	Afluente de Ca les Planes (Torrent de Tagast)	Castellar del Riu	400826	4664823	6-8/Noviembre/1982
85	Baeza (1994)	Sant Julià de Frèixerms (Torrent de Bosoms)	Vallcebre	403241	4675846	6-8/Noviembre/1982
86	Baeza (1994)	Sant Julià de Frèixerms (Torrent de Bosoms)	Vallcebre	403261	4675079	6-8/Noviembre/1982

87	Baeza (1994)	Torrent de la Deixalleria de L'Alt Berguedà	Guardiola de Berguedà	406370	4675735	6-8/Noviembre/1982
88	Baeza (1994)	Els Plans (Santa Creu d'Oller)	Sant Llorenç de Morunys	383164	4666762	6-8/Noviembre/1982
89	Baeza (1994)	Sant Ramón (Afluente del Torrent Llarg)	Vallcebre	404413	4672836	6-8/Noviembre/1982
90	Baeza (1994)	Sant Ramón (Afluente del Torrent Llarg)	Vallcebre	404279	4673048	6-8/Noviembre/1982
91	Baeza (1994)	Sant Ramón (Afluente del Torrent Llarg)	Vallcebre	404445	4672962	6-8/Noviembre/1982
92	Baeza (1994)	Torrent de Cirers	Gòsol	388350	4674824	6-8/Noviembre/1982
93	Baeza (1994)	Riu de Peguera	Cercs	405414	4667125	6-8/Noviembre/1982
94	Baeza (1994)	Afluente Izquierdo de Agua de Valls	Gòsol	390181	4675318	6-8/Noviembre/1982
95	Baeza (1994)	Torrent de Palou	Cercs	404420	4667375	6-8/Noviembre/1982
96	Baeza (1994)	Afluente Izquierdo del Torrent de Palou	Cercs	404416	4667403	6-8/Noviembre/1982
97	Baeza (1994)	Roca d'Auró - Pla de la Basa	Castellar del Riu	400376	4665270	6-8/Noviembre/1982
98	Baeza (1994)	Torrent de la Molina	Castellar del Riu	400172	4665430	6-8/Noviembre/1982
99	Baeza (1994)	Roca d'Auró - Pla de la Basa	Castellar del Riu	400232	4665578	6-8/Noviembre/1982
100	Baeza (1994)	Torrent dels Morers	Gòsol	389167	4674803	6-8/Noviembre/1982
101	Baeza (1994)	Torrent de Ca L'Esgarrifós	Vallcebre	402138	4675846	6-8/Noviembre/1982
102	Baeza (1994)	Torrent de Ca L'Esgarrifós	Vallcebre	402039	4675847	6-8/Noviembre/1982
103	Baeza (1994)	L'Eslavissada (Vilacireres)	Gòsol	389315	4670157	6-8/Noviembre/1982
104	Baeza (1994)	Torrent de les Comes	La Pobla de Lillet	416488	4678203	6-8/Noviembre/1982
105	Baeza (1994)	Afluente Izquierdo del Torrent de Rentadors	La Pobla de Lillet	418353	4677412	6-8/Noviembre/1982
106	Baeza (1994)	Afluente Izquierdo del Torrent de Rentadors	La Pobla de Lillet	418318	4677317	6-8/Noviembre/1982
107	Baeza (1994)	Afluente Izquierdo del Torrent de Rentadors	La Pobla de Lillet	418273	4677244	6-8/Noviembre/1982
108	Baeza (1994)	Afluente de L'Arija (E de les Comes)	La Pobla de Lillet	416884	4678225	6-8/Noviembre/1982
109	Baeza (1994)	Afluente de L'Arija (E de les Comes)	La Pobla de Lillet	416762	4678090	6-8/Noviembre/1982
110	Baeza (1994)	Afluente de L'Arija (E de les Comes)	La Pobla de Lillet	416698	4678221	6-8/Noviembre/1982
111	Baeza (1994)	Afluente de L'Arija (E de les Comes)	La Pobla de Lillet	416992	4678065	6-8/Noviembre/1982
112	Baeza (1994)	Afluente Izquierdo del Llobregat	La Pobla de Lillet	416095	4678224	6-8/Noviembre/1982
113	Baeza (1994)	Afluente Izquierdo del Llobregat	La Pobla de Lillet	416056	4678075	6-8/Noviembre/1982
114	Baeza (1994)	Afluente Izquierdo del Llobregat	La Pobla de Lillet	416197	4678184	6-8/Noviembre/1982
115	Baeza (1994)	Les Comes	La Pobla de Lillet	416545	4678217	6-8/Noviembre/1982
116	Baeza (1994)	Afluente Derecho del Cardener	Sant Llorenç de Morunys	384086	4668276	6-8/Noviembre/1982
117	Baeza (1994)	Afluente Izquierdo del Cardener	Sant Llorenç de Morunys	384307	4667668	6-8/Noviembre/1982
118	Baeza (1994)	Afluente Izquierdo del Cardener	Sant Llorenç de Morunys	384512	4667406	6-8/Noviembre/1982
119	Baeza (1994)	Afluente Derecho del Cardener	Sant Llorenç de Morunys	384098	4668095	6-8/Noviembre/1982
120	Bru et al (1984) Geoconsultores (2008)	Barranc del Cargol-Riu de Jou	La Guingueta d'Àneu	344244	4717441	7-8/Noviembre/1982
121	Hürlimann et al (2003)	Barranc de Casau	Vielha e Mijaran	317782	4730464	7-8/Noviembre/1982
122	Marco i Planells (2007)	Coll de Port	Josa i Tuixén	380546	4674290	8/Septiembre/1992
123	Hürlimann et al (2003)	Tuixén	Josa i Tuixén	383842	4675917	8/Septiembre/1992
124	Hürlimann et al (2003)	Arás (Norte de Zaragoza)	Biescas			7/Agosto/1996
125	Hürlimann et al (2003)	Serra de la Petita y Alrededores	Berga	405473	4662930	18-19/Diciembre/1997
126	LLISCAT	Torrent Font de la Llum	Marganell	400850	4607542	10/Junio/2000
127	Eduard Terrado (arsgeotecnica)	Torrent de Santa Maria	Monistrol de Montserrat	403230	4605392	10/Junio/2000
128	Marcel (ACA)	Arriu de Valarties (Coma de Montardo)	Naut Aran	324260	4723748	2002
129	Campo	Torrent de la Font d'Ensija	Saldes	396734	4672350	15?, 25?/Julio/2006
130	Marcel (2009)	Canal de la Redona (Sant Nicolau)	La Vall de Boi	324966	4713228	26/Mayo/2008
131	Campo	Portal Norte Túnel Berga	Berga	405620	4663336	4/Junio/2008
132	Marcel (2009)	Barranc d'Andreu (Bonaigua)	Alt Àneu (València d'Àneu)	338845	4723309	26/Junio/2008
133	ACN e IGC (2008)	Barrancs de Portainer i Reguerals	Rialp	352963	4698155	11/Septiembre/2008
134	Marcel (García, 2004)	Barranc de Tordó (Padriñás)	La Vansa i Fórnols	375273	4673133	Varios (Dendro)
1	IGEOTEST (2008)	Ciut d'Emprivat (Prat Primer)	Fener (Les Escaldes)	379750	4707100	16/Abril/1865

2	Hürlimann et al (2006)	Obacs, Castell y Agnonella	Llorts	377500	4717500	1937
3	Hürlimann (Comunic. Personal)	Riu d'Aixirivall	Sant Julià de Lòria	377500	4702550	1937
4	Hürlimann et al (2003)	Maians	Maians	378300	4705150	27/Octubre/1937
5	IGEOTEST (2008)	Canal de la Fita	La Mosquera	385500	4710500	Noviembre/1937
6	Hürlimann et al (2003)	Engolasters	San Miguel de Engolasters	382150	4708250	6-7/Noviembre/1982
7	Baeza (1994)	Afluente Derecho del Riu de L'Angonella	Llorts	377450	4717450	6-8/Noviembre/1982
8	Baeza (1994)	Afluente Derecho del Riu de L'Angonella	Llorts	377600	4717600	6-8/Noviembre/1982
9	Baeza (1994)	Palomer	Arinsal	375778	4714354	6-8/Noviembre/1982
10	Baeza (1994)	Palomer	Arinsal	375554	4714354	6-8/Noviembre/1982
11	Baeza (1994)	Riu del Cardemeller	Pal	373458	4710866	6-8/Noviembre/1982
12	Baeza (1994)	Riu del Cardemeller	Pal	373634	4711074	6-8/Noviembre/1982
13	Baeza (1994)	Riu del Solà	Pal	373826	4711282	6-8/Noviembre/1982
14	Baeza (1994)	NE de Pal	Pal	375266	4711634	6-8/Noviembre/1982
15	Baeza (1994)	NE de Pal	Pal	375506	4711954	6-8/Noviembre/1982
16	Baeza (1994)	NE de Pal	Pal	375554	4711858	6-8/Noviembre/1982
17	Baeza (1994)	Canal del Bos Negre	Pal	373394	4711554	6-8/Noviembre/1982
18	Baeza (1994)	Canal del Bos Negre	Pal	373282	4711698	6-8/Noviembre/1982
19	Baeza (1994)	Canal del Bos Negre	Pal	373378	4711634	6-8/Noviembre/1982
20	Baeza (1994)	Canal del Bos Negre	Pal	373250	4711538	6-8/Noviembre/1982
21	Baeza (1994)	Canal de L'Assalador	Pal	373330	4712594	6-8/Noviembre/1982
22	Baeza (1994)	Canal de L'Assalador	Pal	373314	4712690	6-8/Noviembre/1982
23	Baeza (1994)	Canal de L'Assalador	Pal	373346	4712786	6-8/Noviembre/1982
24	Baeza (1994)	NE de Pal	Pal	374978	4711794	6-8/Noviembre/1982
25	Baeza (1994)	Canal de L'Assalador	Pal	373634	4712338	6-8/Noviembre/1982
26	Baeza (1994)	Riu de Galliner	Arinsal	374466	4713522	6-8/Noviembre/1982
27	Baeza (1994)	Riu de Galliner	Arinsal	374626	4713634	6-8/Noviembre/1982
28	Baeza (1994)	Riu de Galliner	Arinsal	374690	4713650	6-8/Noviembre/1982
29	Baeza (1994)	Riu de Galliner	Arinsal	374626	4713442	6-8/Noviembre/1982
30	Baeza (1994)	Riu de Galliner	Arinsal	374754	4713602	6-8/Noviembre/1982
31	Baeza (1994)	Riu de Galliner	Arinsal	374690	4713538	6-8/Noviembre/1982
32	Baeza (1994)	Riu de Galliner	Arinsal	374818	4713826	6-8/Noviembre/1982
33	Baeza (1994)	Riu de L'Espeluga	Pal	371874	4712498	6-8/Noviembre/1982
34	Baeza (1994)	Riu de L'Espeluga	Pal	371986	4712098	6-8/Noviembre/1982
35	Baeza (1994)	Riu de L'Espeluga	Pal	372000	4712000	6-8/Noviembre/1982
36	Baeza (1994)	Seturia	Pal	372050	4711778	6-8/Noviembre/1982
37	Baeza (1994)	Seturia	Pal	371682	4711826	6-8/Noviembre/1982
38	Baeza (1994)	Riu de L'Espeluga	Pal	371970	4711858	6-8/Noviembre/1982
39	Baeza (1994)	Riu de L'Espeluga	Pal	371970	4711906	6-8/Noviembre/1982
40	Baeza (1994)	Afluente Izquierdo del Riu de Montaup (El Llampo)	Canillo	384350	4715350	6-8/Noviembre/1982
41	Baeza (1994)	Riu Xic (Afluente de La Valira d'Orient)	Soldeu	391600	4714600	6-8/Noviembre/1982
42	Baeza (1994)	W de Canillo	Canillo	384500	4713700	6-8/Noviembre/1982
43	Baeza (1994)	W de Canillo	Canillo	384550	4713750	6-8/Noviembre/1982
44	Baeza (1994)	Riu de Les Agols (Riu de La Molina)	Encamp	384400	4709950	6-8/Noviembre/1982
45	Baeza (1994)	Riu dels Cortals	Encamp	384550	4710400	6-8/Noviembre/1982
46	Baeza (1994)	Riu d'Urina	Prats	383300	4713600	6-8/Noviembre/1982
47	Baeza (1994)	Afluente Izquierdo del Riu d'Urina	Prats	383450	4713700	6-8/Noviembre/1982
48	Baeza (1994)	Riu de les Pardines	Encamp	385400	4710000	6-8/Noviembre/1982
49	Baeza (1994)	N de El Lloset (Afluente de la Valira d'Orient)	Encamp	384650	4710850	6-8/Noviembre/1982
50	Marco (2007)	Torrent de Maïans 01b	Comella	378300	4705150	8/Noviembre/1982
51	IGEOTEST (2008)	Pont de la CG No. 2	Encamp	385500	4710500	4/Agosto/1996
52	Marcel	Riu d'Aixirivall	Sant Julià de Lòria	377500	4702550	2004?

53	IGEOTEST (2008)	Riu dels Cortals d'Encamps	Serrat de Sant Jaume	385500	4710500	13/Febrero/2004
54	CENMA (2008)	Torrent de Fontanals	Sant Julià de Lòria	375350	4702750	1/Agosto/2008
55	CENMA (2008)	Riu Runer	Sant Julià de Lòria	378855	4698983	1/Agosto/2008
56	Diari d'Andorra	Riu d'Aixàs - Bixessarri	Sant Julià de Lòria	373635	4704912	28/Agosto/2008

Anexos: Zona Molló-Queralbs

Anexo 2. Inventario de movimientos en masa del área Molló-Queralbs (DS: Deslizamiento Superficial; CD: Corriente de Derrubios).

Id	TIPO_MM	X_UTM	Y_UTM	Área 2D	Área 3D
1	CD	446455	4692682	3658,60	4500,33
2	DS	446392	4692648	5040,46	6063,53
3	CD	446437	4692587	890,97	1119,12
4	CD	446467	4692545	801,99	1001,01
5	DS	446692	4692664	9179,50	11790,22
6	CD	446708	4692528	1476,53	1880,04
7	CD	446833	4692756	862,37	1107,31
8	DS	446897	4692685	948,38	1089,65
9	CD	447094	4692762	1055,73	1262,96
10	DS	446980	4692811	2308,94	2884,22
11	DS	446575	4692937	1883,57	2430,96
12	CD	446797	4693016	1463,32	1719,49
13	DS	447605	4692632	598,19	704,46
14	DS	447532	4692835	2745,24	3218,39
15	CD	445655	4692932	2547,83	3434,32
16	DS	445510	4693041	2437,07	2746,53
17	CD	445774	4693184	1304,14	1494,49
18	CD	445286	4692664	1991,93	2353,81
19	DS	445197	4692701	686,82	804,68
20	DS	445133	4692740	1385,33	1619,09
21	DS	444969	4692772	254,43	297,45
22	DS	444948	4692883	1150,79	1516,56
23	CD	443878	4692487	3403,69	4023,24
24	CD	445404	4692315	8074,39	10883,10
25	DS	445546	4692227	2882,79	3303,29
26	DS	445452	4692235	318,46	399,43
27	DS	445380	4692229	776,98	940,58
28	DS	445224	4692330	4754,48	6171,88
29	DS	445095	4692390	1124,34	2819,91
30	DS	445043	4692355	430,73	549,21
31	DS	444752	4692420	1772,95	2158,13
32	DS	444805	4692397	1234,70	1604,58
33	DS	444739	4692321	8519,01	10206,95
34	CD	444941	4692201	2568,86	3199,29
35	DS	444556	4692293	2821,59	3632,45
36	DS	444444	4692168	2173,18	2720,96
37	CD	444342	4691846	1157,02	1502,11
38	DS	444408	4691837	2845,25	3690,80
39	DS	444454	4691757	2789,33	3634,13

40	DS	444059	4691878	2348,76	2961,18
41	CD	444150	4691769	953,48	1189,09
42	DS	443858	4692244	1177,61	1530,09
43	CD	444081	4692304	1025,63	1264,20
44	DS	443932	4692342	1312,08	1596,18
45	DS	444143	4692287	808,41	993,37
46	DS	446929	4691692	2463,75	2976,77
47	CD	447331	4691415	3748,01	4273,80
48	DS	446830	4691623	667,95	846,75
49	DS	446890	4691535	524,92	665,84
50	DS	446852	4691539	4503,26	5817,58
51	CD	446317	4691008	5393,83	6584,75
52	DS	446792	4690886	1360,67	1696,47
53	DS	446774	4690909	1294,71	1492,69
54	CD	446638	4691069	1115,84	1341,27
55	CD	445885	4691452	2440,27	2937,25
56	CD	445826	4691737	1071,03	1145,96
57	DS	446568	4691453	1239,99	1475,88
58	DS	446547	4691648	876,93	1078,52
59	DS	446569	4691553	1278,91	1548,35
60	CD	446351	4691832	434,09	490,39
61	DS	446341	4691735	343,22	379,93
62	DS	446314	4691551	397,89	532,81
63	CD	446245	4691586	256,06	291,59
64	DS	446393	4691417	623,66	805,14
65	CD	446213	4691540	748,55	888,69
66	CD	446218	4690350	7934,21	8770,81
67	CD	446089	4690271	2440,57	2761,35
68	DS	446052	4689987	2544,72	2985,75
69	CD	446044	4690258	1471,38	1547,74
70	CD	445928	4690188	2300,24	2619,11
71	CD	445886	4690270	2425,46	2867,66
72	DS	445776	4690183	5512,63	7004,49
73	CD	445866	4690173	1023,87	1218,45
74	DS	445830	4690150	1376,06	1620,82
75	CD	446055	4690663	1374,38	1557,85
76	CD	445901	4690729	2877,90	3336,78
77	DS	445912	4690434	2324,46	2914,84
78	DS	445961	4690428	3071,74	3598,77
79	DS	445982	4690477	1202,48	1390,09
80	CD	445787	4690376	866,22	1084,46
81	CD	445628	4691003	5766,71	6289,94
82	DS	445444	4691059	1842,29	2100,82
83	CD	445535	4690883	1597,44	1861,36
84	DS	445435	4691209	929,11	980,01
85	DS	445131	4691114	376,62	446,66
86	CD	445154	4691038	1422,18	1578,04
87	DS	445296	4690720	7096,65	8382,35
88	CD	444544	4690340	549,11	583,74
89	CD	444813	4690085	724,19	762,03
90	DS	444875	4690123	1044,29	1286,04
91	CD	444642	4690164	1026,97	1109,86

92	CD	444656	4690233	2197,94	2399,69
93	DS	445167	4690114	922,15	1196,43
94	DS	445157	4690469	301,45	363,34
95	DS	445144	4690453	640,42	873,07
96	CD	445016	4690484	884,73	942,74
97	CD	444900	4690798	698,90	733,55
98	DS	444940	4690870	700,97	741,49
99	CD	444814	4690725	8071,97	9205,26
100	CD	444987	4689847	1784,19	1951,60
101	DS	445004	4689418	3718,77	4431,54
102	DS	444795	4689552	962,47	1061,18
103	DS	444920	4689504	1215,18	1478,69
104	DS	444843	4689564	367,12	402,18
105	CD	444709	4689757	5226,63	5666,04
106	DS	444991	4689780	1463,68	1657,91
107	DS	444914	4689772	1053,22	1192,77
108	DS	444890	4689791	1072,77	1220,42
109	DS	444946	4689466	1119,43	1341,69
110	CD	444846	4689290	1324,06	1385,08
111	DS	444663	4689605	2031,82	2531,71
112	CD	445513	4689257	774,64	826,88
113	DS	445659	4689195	3186,29	3814,90
114	CD	445516	4689098	527,48	609,03
115	CD	445532	4689072	451,52	490,60
116	DS	445698	4689289	5244,87	6662,94
117	DS	445612	4689113	461,15	522,97
118	CD	445772	4689254	539,25	687,28
119	DS	445926	4689351	8241,78	8679,75
120	CD	440802	4692105	791,59	923,79
121	CD	441193	4691806	3818,02	5123,43
122	CD	441132	4691975	5024,18	6008,44
123	CD	441439	4692075	10589,91	12881,72
124	CD	441321	4691782	4192,43	5357,95
125	CD	441525	4691749	8639,92	11206,12
126	CD	441493	4691596	4477,05	6102,92
127	DS	441999	4691732	2618,16	3354,63
128	CD	446940	4692009	6030,18	6405,57
129	CD	447136	4691861	10257,46	11085,81
130	CD	447254	4691762	4763,37	5204,21
131	DS	447122	4691486	1372,67	1666,75
132	CD	446558	4690757	1481,94	1608,48
133	CD	446549	4690846	1092,67	1205,45
134	DS	446943	4691172	1604,86	2188,01
135	DS	443172	4691007	1486,85	1797,93
136	DS	443170	4691108	159,41	170,06
137	DS	443135	4689733	2546,80	2987,35
138	DS	443349	4690111	1998,96	2064,82
139	DS	441995	4690102	990,89	1164,28
140	CD	442183	4689995	1196,61	1376,40
141	DS	442721	4689942	5051,74	5681,49
142	DS	442461	4690207	1038,53	1170,21
143	DS	442084	4689103	2747,08	3280,08

144	DS	442090	4689416	2278,06	2808,15
145	DS	442137	4688990	709,10	839,10
146	DS	442354	4689341	1521,50	1815,87
147	DS	444355	4689779	2110,56	2330,83
148	DS	444477	4689730	993,86	1121,28
149	CD	444309	4689870	4433,29	5066,33
150	DS	444475	4690509	3107,21	3707,16
151	DS	444570	4690455	865,44	1061,20
152	DS	444185	4689740	3231,91	3584,86
153	DS	444402	4689542	482,97	536,12
154	CD	447938	4691969	18924,38	21770,19
155	CD	447998	4692051	11485,26	13192,15
156	DS	447915	4692167	1817,53	2286,34
157	CD	448259	4691861	21519,51	25202,93
158	CD	448405	4691692	9827,89	11758,17
159	CD	448365	4691854	17652,21	21004,52
160	CD	448758	4691858	18318,60	21805,71
161	CD	448925	4691498	7125,09	7917,82
162	DS	448962	4691569	3163,32	3613,85
163	CD	449049	4691424	830,59	886,23
164	CD	447725	4691960	6933,09	8293,22
165	DS	449030	4691563	819,78	939,67
166	DS	449323	4691653	949,68	1023,60
167	DS	448752	4692107	3251,89	3992,15
168	DS	448772	4692192	2540,48	3058,04
169	DS	448408	4692202	6584,34	7967,18
170	CD	447923	4691472	3776,21	4072,82
171	CD	447893	4691568	3055,64	3191,15
172	DS	447785	4692532	1755,37	2113,35
173	CD	447422	4692125	4876,02	5672,65
174	CD	447507	4692103	11019,81	12845,74
175	DS	447780	4692084	11209,43	13283,95
176	CD	447638	4692135	4670,15	5369,47
177	CD	447575	4692117	6925,84	8026,37
178	CD	447223	4692526	8197,13	9580,44
179	CD	447314	4692502	5591,17	6342,22
180	CD	447281	4692251	4708,07	5389,61
181	CD	447314	4692211	3434,89	3885,63
182	CD	447363	4692159	2096,69	2407,07
183	CD	447700	4691530	11057,73	11819,38
184	DS	448727	4692941	2479,73	2736,83
185	DS	448247	4692671	911,72	1211,18
186	DS	448306	4692687	517,94	670,96
187	DS	447815	4692671	702,41	947,10
188	CD	449608	4692234	5695,68	6861,20
189	CD	447045	4692461	9048,06	10118,10
190	CD	446853	4692339	5751,74	6389,95
191	CD	449753	4692857	1901,13	2110,74
192	DS	449443	4693082	494,79	588,18
193	DS	449298	4693129	475,76	531,66
194	CD	452984	4691996	8962,77	10379,04
195	DS	452729	4691997	4076,18	4804,63

196	DS	452586	4692051	7977,13	9542,67
197	DS	452479	4692124	2906,55	3448,66
200	CD	453463	4691476	1894,57	2266,35
201	CD	453356	4691727	3072,80	3756,41
202	CD	453845	4691200	3876,78	4558,00
203	CD	454252	4691031	3181,88	3978,05
204	DS	454252	4690931	2499,68	2769,32
205	CD	454225	4690950	1895,80	2339,56
206	DS	454215	4690704	3737,15	4797,37
207	CD	454176	4690936	3998,28	4739,53
208	DS	454185	4691064	744,05	897,42
209	CD	455064	4690838	71453,14	83813,45
210	DS	454601	4690740	2293,26	2997,58
211	DS	454702	4690676	4443,88	5454,77
212	CD	454337	4690430	1053,36	1354,32
213	CD	455668	4690175	4791,34	5407,96
214	CD	455587	4690075	1762,92	2166,35
215	CD	454097	4690015	2420,53	3023,95
216	CD	454289	4690013	5886,79	6525,77
217	CD	454272	4689814	5037,72	6124,92
218	CD	454067	4689612	10823,20	13369,50
219	DS	454210	4689698	1282,59	1636,68
220	CD	454835	4689890	6149,17	7562,82
221	DS	454788	4689804	2261,36	2872,16
222	CD	454961	4689760	5557,90	6791,16
223	DS	454872	4689770	3724,55	4576,35
224	CD	455345	4689737	8342,03	9748,69
225	DS	455742	4689953	4092,90	5020,50
226	CD	456133	4689569	5907,94	7413,77
227	CD	456138	4689362	5419,21	6441,02
228	CD	455980	4689161	5356,92	6347,48
229	CD	455850	4690081	2141,81	2586,66
230	DS	455955	4689855	574,98	692,26
231	CD	455433	4688234	13964,07	17016,35
232	CD	456573	4688186	2122,37	2461,93
233	CD	456237	4688092	3103,16	3546,43
234	DS	455713	4688113	1717,75	1845,96
235	DS	453813	4691248	749,87	909,49
236	DS	453506	4691820	24388,98	25784,84
237	DS	453259	4691554	1814,80	2043,48
238	DS	449647	4691794	7992,27	9432,99
239	CD	438014	4691551	2872,49	3362,70
240	CD	437898	4691651	11300,46	13494,31
241	CD	437796	4691916	31123,65	37456,60
242	CD	438250	4691383	8600,24	10284,75
243	CD	438568	4691285	14418,43	18842,21
244	DS	438465	4691100	3751,03	4477,09
245	CD	437808	4692124	3703,66	4265,25
246	CD	438258	4691610	7123,08	8437,49
247	DS	438862	4691558	8221,26	10662,11
248	DS	438641	4692344	1244,60	1650,90
249	DS	438491	4692399	1494,38	1889,55

250	DS	438703	4692249	1485,77	2007,29
251	DS	439070	4692312	826,86	1234,41
252	DS	438852	4691755	1576,21	1966,21
253	CD	439624	4691751	5628,70	7105,95
254	CD	439877	4691580	8122,21	10557,29
255	DS	439430	4691295	3036,14	3486,39
256	DS	439577	4691854	1774,31	2224,40
257	DS	439690	4692008	930,22	1175,75
258	DS	439803	4691400	666,58	827,93
259	DS	439759	4691353	1215,64	1538,40
260	DS	439824	4691451	695,96	914,55
261	CD	438327	4690313	2745,52	3157,62
262	CD	438573	4690834	4462,50	5641,97
263	DS	438597	4690452	6439,39	8110,49
264	CD	438401	4690612	13890,71	17626,06
265	DS	438761	4690693	4481,86	5880,74
266	DS	438820	4690712	1898,08	2399,33
267	DS	438625	4690765	4056,07	5220,26
268	DS	438644	4690723	7382,76	10427,61
269	DS	439024	4690814	3539,04	4299,20
270	CD	438963	4690059	2046,01	2547,87
271	DS	439288	4690522	8457,74	10509,94
272	CD	439100	4690409	1487,50	1885,09
273	CD	438973	4689997	1916,06	2298,62
274	DS	439042	4690122	1186,13	1505,29
275	DS	439201	4690357	3519,68	4633,50
276	CD	439100	4689926	4819,17	5971,49
277	DS	439415	4690660	1650,63	1910,97
278	CD	439622	4690002	3403,56	4154,80
279	DS	439699	4690119	3597,10	4785,77
280	CD	439696	4690032	1376,91	1785,30
281	CD	439800	4690063	976,00	1162,19
282	DS	439904	4690395	1799,93	2187,15
283	CD	440152	4690130	2695,75	3337,39
284	DS	440242	4689976	1161,25	1484,05
285	CD	440187	4689957	550,21	678,79
286	CD	440524	4689732	6422,80	7653,32
287	DS	441274	4690079	1844,17	2047,54
288	CD	437548	4691087	6957,91	8137,12
289	DS	437536	4690803	1000,02	1159,00
290	DS	437553	4690996	1686,86	1948,96
291	DS	437498	4690676	3176,84	3596,32
292	DS	437540	4690545	1308,73	1454,31
293	DS	437567	4690511	1812,70	2129,70
294	DS	437547	4690429	1765,20	1983,79
295	CD	437712	4689964	1166,25	1326,27
296	CD	437719	4689989	862,81	976,20
297	DS	437579	4689918	1540,92	1789,42
298	DS	437602	4690314	1129,31	1230,24
299	DS	437642	4690220	1422,19	1551,05
300	DS	437610	4689992	1820,61	2126,83
301	DS	437646	4690121	1538,29	1915,89

302	DS	437655	4690157	633,26	828,89
303	DS	437694	4690154	4089,92	4582,01
304	DS	437526	4689462	2303,47	2959,32
305	DS	437541	4689526	1382,61	1804,43
306	DS	437511	4689643	2522,47	3203,19
307	DS	437505	4689081	4361,56	6107,55
308	DS	437610	4689569	3121,43	3957,24
309	CD	438335	4689603	3783,71	4493,81
310	DS	438275	4689565	1092,37	1242,26
311	CD	438815	4688936	7195,38	8994,76
312	CD	438848	4688664	6482,96	7982,17
313	CD	438985	4688507	4741,51	5936,68
314	CD	438820	4688414	1306,09	1712,04
315	CD	439018	4688384	2079,19	2527,65
316	CD	438951	4688995	24865,88	31558,93
317	CD	439144	4689107	783,66	857,30
318	CD	439011	4688937	1601,61	1943,31
319	CD	439783	4688683	5905,12	7001,19
320	CD	439601	4688611	3591,09	4535,23
321	CD	439469	4688534	18913,27	23712,48
322	DS	439537	4688315	1031,68	1510,27
323	CD	438944	4687912	3195,31	4191,90
324	CD	438870	4687990	10517,34	13884,72
325	CD	438568	4687855	1854,91	2214,11
326	CD	438473	4687879	2546,22	3180,88
327	CD	438402	4687746	2504,00	3142,49
328	DS	438409	4687924	4226,99	5370,33
329	CD	438217	4687621	4926,21	6365,87
330	DS	438201	4687893	5203,26	6418,66
331	CD	438089	4687620	22174,54	28485,48
332	DS	438154	4687741	2108,22	2627,05
333	CD	438661	4687984	1087,09	1378,34
334	DS	437737	4687946	9343,17	11604,63
335	CD	437864	4687808	7200,66	8612,00
336	CD	437577	4687748	1770,48	2095,37
337	DS	437374	4687832	736,16	890,58
338	CD	440248	4687208	5051,86	6204,59
339	CD	440331	4687159	4359,49	5333,49
340	CD	440321	4686995	29294,09	36994,37
341	CD	440607	4686927	8666,47	9761,91
342	CD	441177	4687358	13594,17	17402,01
343	DS	440429	4687236	8317,90	10149,67
344	CD	439931	4687439	12362,25	16266,96
345	DS	439871	4687645	1623,47	2044,42
346	DS	436576	4689035	10349,87	12303,69
347	DS	437072	4691059	1613,56	1817,11
348	CD	436327	4691155	9119,67	10725,86
349	CD	436865	4690793	2869,44	3357,69
350	CD	436976	4690901	1624,52	1833,42
351	CD	436726	4690175	4563,73	5286,14
352	CD	436602	4690346	3969,19	4516,78
353	DS	435647	4691954	421,23	513,83

354	CD	435800	4691864	1361,62	1691,41
355	CD	435712	4691734	2713,44	3494,83
356	CD	435560	4691839	1548,14	1923,92
357	CD	435360	4692349	2378,17	3262,56
358	CD	436190	4692074	3419,59	3936,15
359	CD	436618	4692241	1807,72	1976,60
360	CD	436598	4691978	1484,41	1611,32
361	CD	436848	4691747	6683,74	7245,34
362	DS	436644	4691806	4555,82	5272,59
363	DS	436378	4691056	509,83	585,44
364	DS	436164	4688049	6558,56	7776,53
365	CD	433970	4688234	6485,69	8418,93
366	CD	434057	4688400	17447,87	23301,33
367	CD	435447	4689148	7839,05	9227,03
368	DS	434763	4688471	9036,25	10439,05
369	DS	435668	4687470	17812,23	20737,63
370	DS	435757	4686687	24225,05	27740,18
371	DS	435561	4686695	6246,25	7491,99
372	DS	435289	4688607	12950,56	16315,40
373	DS	434956	4688706	3206,41	4399,83
374	CD	435191	4690218	7717,66	9788,27
375	DS	435459	4690037	5336,15	6756,54
376	DS	435370	4689963	2045,53	2522,58
377	DS	435186	4690037	1577,79	1935,44
378	DS	436221	4690422	2892,06	3362,19
379	CD	434960	4690038	5853,30	6996,57
380	DS	435551	4690125	3132,52	3829,85
381	CD	434659	4690825	3965,88	4722,98
382	CD	434485	4690631	6854,65	8383,19
383	DS	434341	4689286	17677,69	21541,17
384	CD	434219	4688960	18879,82	22277,52
385	DS	434004	4688877	6759,78	8400,60
386	DS	432761	4689409	5209,64	5694,47
387	DS	432603	4689327	1346,48	1523,52
388	CD	432968	4689155	4315,39	5207,10
389	CD	433285	4689223	53237,14	57355,61
390	DS	432246	4690139	18349,71	22856,21
391	CD	433244	4690190	8064,69	9592,66
392	CD	433080	4690398	15287,17	16931,38
393	DS	432246	4690477	9812,10	11758,34
394	DS	432161	4690367	8234,74	9995,90
395	CD	434508	4690353	4832,60	5309,25
396	CD	431918	4692238	6554,45	7927,47
397	CD	432431	4692093	2805,32	3430,89
398	CD	431745	4690875	2959,46	3642,72
399	CD	431032	4690517	3047,14	3784,94
400	CD	428921	4690191	2041,73	2268,35
401	DS	429119	4689887	2297,58	2828,08
402	DS	429438	4689894	3180,35	3856,79
403	DS	429474	4689983	4396,92	6041,89
404	CD	429769	4689825	2385,69	2982,65
405	DS	429617	4689840	3549,73	4464,63

406	CD	429321	4690242	3836,08	4800,57
407	CD	429383	4690287	425,29	522,91
408	DS	429339	4689872	2860,11	3464,42
409	CD	429156	4689740	8715,89	11088,21
410	CD	429485	4689193	1225,04	1666,08
411	DS	429974	4689353	2541,57	3151,04
412	CD	429791	4689517	1894,32	2397,86
413	DS	430315	4688534	4193,02	7100,37
414	CD	429780	4688325	851,46	1122,74
415	CD	429127	4688215	1060,31	1409,25
416	DS	428978	4688163	2388,36	4677,58
417	CD	430611	4688476	3432,60	4565,68
418	DS	425785	4687687	8977,28	11019,90
419	CD	425991	4688750	4636,28	5953,04
420	CD	425791	4688938	20908,20	24739,10
421	CD	425951	4688877	5138,50	6299,53
422	DS	425951	4688151	3346,37	3897,30
423	DS	426103	4688715	3536,68	4191,92
424	DS	425922	4688296	2701,41	2995,04
425	CD	427960	4688519	3330,51	4537,38
426	DS	428072	4688365	9711,34	12767,96
427	DS	427811	4688999	3515,54	4461,98
428	CD	423095	4688874	1504,97	1743,33
429	CD	423629	4688762	1733,27	2269,46
430	DS	423179	4688586	1728,84	2114,62
431	DS	425855	4688605	2107,85	2437,06
432	DS	425869	4688456	3127,42	3514,09
433	DS	425923	4688425	1067,89	1255,76
434	DS	425861	4688795	984,11	1092,02
435	CD	426953	4690624	7015,20	9512,88
436	CD	426732	4690204	3517,00	4117,36
437	DS	427257	4689877	3996,59	4975,15
438	CD	428282	4691086	4081,52	4559,76
439	CD	428221	4691086	4226,40	4675,47
440	DS	428148	4690922	2660,67	3075,07
441	CD	427232	4689793	1200,74	1461,10
442	DS	427614	4690187	3427,67	4433,66
443	DS	427518	4690088	5078,02	6029,20
444	CD	427934	4691105	8542,72	9877,13
445	DS	427776	4690306	2290,40	2772,99
446	DS	426728	4691241	26453,33	30326,82
447	CD	426674	4691541	1131,98	1245,38
448	CD	426551	4691296	1211,32	1361,47
449	DS	427386	4689562	2179,32	2749,97
450	CD	427214	4689406	3406,51	4131,93
451	CD	429157	4692116	9010,13	12499,15
452	DS	428753	4691831	4455,24	5083,20
453	DS	453535	4683351	1582,59	2053,87
454	DS	443258	4684732	5927,75	6139,11
455	CD	440297	4685885	1736,79	1928,46
456	CD	439810	4686000	573,67	629,78
457	CD	439834	4686386	17152,08	17656,47

458	CD	440379	4685973	826,29	995,00
459	DS	440341	4686152	4089,34	4936,22
460	DS	440528	4686207	3068,32	3713,40
461	DS	440555	4686358	9141,81	10983,57
462	CD	440813	4685840	5552,45	6337,47
463	CD	440669	4685947	1889,41	2117,31
464	DS	440520	4686091	2910,43	3663,07
465	DS	440801	4686163	3684,09	4351,99
466	DS	441192	4686142	4626,17	5515,06
467	DS	441211	4685957	1378,90	1624,23
468	CD	441136	4685821	1331,54	1519,97
469	DS	441069	4686327	2699,91	3449,34
470	CD	441231	4686331	863,13	996,49
471	CD	441275	4686370	652,61	832,55
472	DS	441120	4686227	1352,59	1781,70
473	DS	442023	4686512	9204,10	10436,57
474	CD	441338	4686124	16899,46	18123,83
475	DS	441379	4686473	2726,23	3370,72
476	DS	441458	4686532	3441,99	4354,31
477	DS	441234	4686418	1168,38	1425,02
478	DS	440641	4686211	2799,91	3581,45
479	DS	440065	4686108	17604,70	21656,73
480	CD	441041	4685726	2220,98	2544,84
481	CD	441723	4685030	8631,30	10804,93
482	CD	440906	4685064	4789,32	5246,57
483	CD	441575	4685042	5662,98	6646,66
484	DS	442053	4685301	1289,43	1561,13
485	DS	442231	4685354	1684,16	2010,10
486	CD	440238	4684095	3510,41	3807,51
487	CD	440545	4684000	6036,65	6895,52
488	DS	441898	4684479	5594,56	6718,29
489	DS	441218	4684474	4778,79	5573,64
490	CD	440285	4684174	768,40	867,15
491	CD	442061	4684573	3836,72	4320,20
492	CD	441983	4684458	2742,02	3031,25
493	DS	442272	4684659	4936,68	5736,07
494	CD	442348	4684517	1768,36	1889,41
495	DS	442413	4684798	4247,23	5080,62
496	CD	442508	4684831	1794,68	2037,90
497	CD	441301	4684373	1499,95	1671,95
498	DS	442335	4685351	12383,81	14569,13
499	CD	437971	4686426	1376,02	1599,23
500	DS	437961	4686302	2867,66	3552,21
501	CD	438353	4686290	35741,72	45526,81
502	DS	438800	4686394	4792,93	5408,84
503	DS	438904	4686228	9158,02	10893,03
504	CD	439110	4685932	1214,13	1368,90
505	DS	437283	4686461	20252,87	25825,43
506	DS	437546	4686273	3579,85	4579,55
507	DS	437809	4685690	5995,50	7278,02
508	DS	439335	4686337	2127,62	2588,92
509	DS	439542	4686091	526,12	613,46

510	DS	439637	4686065	1902,14	2201,70
511	CD	438401	4685552	2220,13	2826,77
512	CD	438387	4685388	1208,35	1432,35
513	CD	438719	4684991	5746,89	7850,92
514	DS	438670	4685218	3844,75	4836,99
515	DS	438650	4684804	3705,99	4628,99
516	DS	438552	4684903	2335,76	2794,66
517	CD	439521	4685502	5151,39	5948,39
518	DS	439519	4685106	1763,38	2126,55
519	DS	438595	4684633	849,89	970,62
520	DS	438580	4684687	1347,11	1633,94
521	DS	437575	4684082	3133,62	3936,54
522	CD	437912	4683999	2572,80	3013,37
523	DS	439496	4684517	50037,13	59422,06
524	DS	439722	4684716	861,46	1114,72
525	CD	438118	4683588	3659,74	3827,27
526	DS	438047	4683757	1271,95	1501,91
527	DS	438429	4683908	8071,08	8126,29
528	DS	438668	4683874	5041,54	5114,14
529	CD	437930	4683215	2890,79	3209,50
530	DS	438205	4683439	2150,75	2299,36
531	CD	436766	4685820	1988,23	2523,87
532	DS	436101	4686469	4580,53	5326,22
533	DS	435443	4686283	6640,11	8485,84
534	CD	434903	4686347	3743,38	4140,75
535	CD	434799	4686325	3919,37	4597,04
536	DS	435642	4686361	4276,11	5193,84
537	DS	435608	4686375	829,12	1073,35
538	CD	437265	4683690	2255,66	2733,64
539	DS	437118	4683953	1862,50	2225,93
540	DS	437196	4683838	1136,07	1454,08
541	DS	437197	4683791	594,51	693,51
542	CD	435683	4683023	2267,53	2719,92
543	CD	435628	4683000	902,13	1078,32
544	DS	437599	4682584	3302,54	4015,31
545	DS	433765	4683691	7594,13	8590,87
546	CD	424739	4684066	6857,23	7389,40
547	DS	424624	4684140	4481,45	5190,61
548	CD	424672	4684966	1143,16	1340,73
549	CD	424663	4685031	1119,83	1408,46
550	DS	424569	4685035	2207,58	2710,16
551	DS	424535	4685085	1006,10	1172,39
552	CD	425033	4685240	2598,36	3328,89
553	CD	425057	4685339	1743,90	1968,91
554	DS	424452	4685147	209,97	239,26
555	CD	424693	4685455	422,85	503,34
556	CD	425644	4685075	883,62	1053,65
557	DS	425755	4684858	1248,13	1638,21
558	DS	426322	4684017	1341,42	1663,25
559	DS	434542	4695543	6775,16	7742,23
560	CD	434609	4695639	11719,95	13845,90
561	DS	434853	4695574	5443,54	6262,43

562	CD	434068	4695510	2729,09	3076,47
563	DS	433653	4695132	9138,42	10854,42
564	DS	434095	4695381	2341,31	2688,50
565	DS	433545	4694711	3409,53	3937,91
566	CD	435169	4694816	12101,64	13753,78
567	CD	435521	4694647	2765,67	3562,83
568	DS	435618	4694980	4777,73	5267,15
569	DS	435597	4695202	2407,16	2595,46
570	CD	434890	4694736	4667,99	5255,09
571	DS	434755	4694672	2546,17	2973,57
572	DS	433874	4694904	13601,54	16787,62
573	DS	435184	4694222	3409,53	3991,95
574	CD	437475	4694964	10697,67	15535,18
575	DS	435769	4694946	1997,79	2158,09
576	DS	435697	4695090	1241,48	1331,16
577	DS	435712	4695023	1569,69	1695,75
578	CD	436198	4695572	13199,65	15138,21
579	CD	436446	4695236	10754,74	13287,08
580	DS	436655	4695182	932,30	1097,42
581	CD	438482	4695968	4861,02	6059,77
582	CD	438591	4695927	10417,17	12500,78
583	CD	441393	4695728	2879,31	3394,40
584	DS	440437	4695909	3144,20	3664,34
585	CD	439485	4694559	3438,80	4350,64
586	DS	439587	4694692	1511,47	1908,39
587	CD	439171	4694640	2471,45	3213,15
588	DS	439475	4694708	1105,33	1384,89
589	DS	439880	4695066	5240,88	6918,67
590	DS	439570	4695154	6184,48	7341,87
591	CD	439640	4694127	3094,98	3786,78
592	DS	439632	4694238	2808,03	3804,43
593	DS	439645	4694330	2780,70	3410,11
594	CD	440018	4693887	2480,08	3170,27
595	DS	439949	4693937	4030,99	5012,67
596	DS	439226	4695445	4372,60	5433,96
597	DS	439189	4695317	7535,90	8947,71
598	CD	439461	4694431	3135,97	4027,59
599	DS	439994	4695045	8834,01	11254,57
600	CD	442854	4694761	5990,69	6879,18
601	CD	444689	4695413	9950,02	11333,65
602	DS	443919	4695827	3219,55	3935,29
603	DS	444303	4695781	9928,17	12033,98
604	CD	443732	4693647	18171,41	21835,74
605	DS	445743	4694167	7523,59	8922,55
606	CD	446690	4694761	4391,74	5558,08
607	DS	446444	4694594	2454,25	3054,78
608	DS	446539	4694549	918,63	1137,47
609	DS	446598	4694537	393,70	489,81
610	DS	446613	4694902	4693,88	5939,86
611	DS	446499	4694934	2873,78	3432,47
612	CD	447211	4693529	1306,38	1434,14
613	CD	447332	4693659	5005,24	5642,60

614	CD	447668	4693777	590,73	700,06
615	DS	448342	4693648	993,56	1247,53
616	DS	448096	4693859	678,60	786,16
617	DS	448509	4694116	581,27	691,89
618	DS	448103	4694435	1296,25	1537,68
619	DS	447381	4694225	1377,02	1609,72
620	CD	453861	4682556	9171,91	10579,06

Anexo 3. Distribuciones teóricas para los datos de movimientos en masa de Molló-Queralbs

#	Distribución	Parámetros
1	Beta	$\alpha_1=0,53088$ $\alpha_2=6,678$ $a=170,06$ $b=83813,0$
2	Burr	$k=0,98359$ $\alpha=1,7969$ $\beta=3207,7$
3	Burr (4P)	$k=0,05166$ $\alpha=18,146$ $\beta=1542,0$ $\gamma=-836,41$
4	Cauchy	$\sigma=1746,3$ $\mu=2786,2$
5	Chi-Squared	$v=5366$
6	Chi-Squared (2P)	$v=5199$ $\gamma=106,3$
7	Dagum	$k=308,26$ $\alpha=1,7829$ $\beta=19,054$
8	Dagum (4P)	$k=236,58$ $\alpha=1,6128$ $\beta=37,889$ $\gamma=-348,08$
9	Error	$k=1,0$ $\sigma=7085,5$ $\mu=5367,0$
10	Error Function	$h=9,9796E-5$
11	Exponential	$\lambda=1,8632E-4$
12	Exponential (2P)	$\lambda=1,9242E-4$ $\gamma=170,06$
13	Fatigue Life	$\alpha=1,0985$ $\beta=3362,6$
14	Fatigue Life (3P)	$\alpha=1,0758$ $\beta=3442,5$ $\gamma=-36,876$
15	Frechet	$\alpha=1,2751$ $\beta=2084,4$
16	Frechet (3P)	$\alpha=1,6643$ $\beta=3279,8$ $\gamma=-979,3$
17	Gamma	$\alpha=0,57374$ $\beta=9354,4$

18	Gamma (3P)	$\alpha=1,0315$ $\beta=5038,5$ $\gamma=169,78$
19	Gen. Extreme Value	$k=0,42367$ $\sigma=2244,4$ $\mu=2474,0$
20	Gen. Gamma	$k=1,2261$ $\alpha=0,67822$ $\beta=9354,4$
21	Gen. Gamma (4P)	$k=0,34869$ $\alpha=7,4795$ $\beta=11,426$ $\gamma=154,38$
22	Gen. Logistic	$k=0,47301$ $\sigma=1874,6$ $\mu=3419,7$
23	Gen. Pareto	$k=0,28446$ $\sigma=3431,8$ $\mu=570,81$
24	Gumbel Max	$\sigma=5524,6$ $\mu=2178,1$
25	Gumbel Min	$\sigma=5524,6$ $\mu=8555,9$
26	Hypersecant	$\sigma=7085,5$ $\mu=5367,0$
27	Inv. Gaussian	$\lambda=3079,3$ $\mu=5367,0$
28	Inv. Gaussian (3P)	$\lambda=4101,0$ $\mu=5493,9$ $\gamma=-126,92$
29	Johnson SB	$\gamma=3,242$ $\delta=0,72799$ $\lambda=1,6017E+5$ $\xi=1166,6$
30	Kumaraswamy	$\alpha_1=1,0247$ $\alpha_2=9,3260E+5$ $a=169,47$ $b=3,4899E+9$
31	Laplace	$\lambda=1,9959E-4$ $\mu=5367,0$
32	Levy	$\sigma=2087,7$
33	Levy (2P)	$\sigma=1879,9$ $\gamma=81,514$
34	Log-Gamma	$\alpha=68,996$ $\beta=0,11735$
35	Log-Logistic	$\alpha=1,8389$ $\beta=3267,3$
36	Log-Logistic (3P)	$\alpha=1,6666$ $\beta=3064,1$ $\gamma=148,84$

37	Log-Pearson 3	$\alpha=256,19$ $\beta=0,0609$ $\gamma=-7,5055$
38	Logistic	$\sigma=3906,5$ $\mu=5367,0$
39	Lognormal	$\sigma=0,974$ $\mu=8,097$
40	Lognormal (3P)	$\sigma=1,0077$ $\mu=8,0616$ $\gamma=70,856$
41	Normal	$\sigma=7085,5$ $\mu=5367,0$
42	Pareto	$\alpha=0,33774$ $\beta=170,06$
43	Pareto 2	$\alpha=6,7486$ $\beta=30611,0$
44	Pearson 5	$\alpha=1,2435$ $\beta=2596,1$
45	Pearson 5 (3P)	$\alpha=1,903$ $\beta=5830,3$ $\gamma=-555,13$
46	Pearson 6	$\alpha_1=2,9979$ $\alpha_2=2,2195$ $\beta=2276,6$
47	Pearson 6 (4P)	$\alpha_1=49,777$ $\alpha_2=1,902$ $\beta=115,94$ $\gamma=-497,84$
48	Pert	$m=187,07$ $a=170,06$ $b=83813,0$
49	Phased Bi-Exponential	$\lambda_1=2,0033E-4$ $\gamma_1=170$ $\lambda_2=2,4926E-4$ $\gamma_2=17954,0$
50	Power Function	$\alpha=0,29688$ $a=170,06$ $b=84351,0$
51	Rayleigh	$\sigma=4282,2$
52	Rayleigh (2P)	$\sigma=8290,3$ $\gamma=-3978,3$
53	Reciprocal	$a=170,06$ $b=83813,0$
54	Rice	$v=1,0751$ $\sigma=6282,0$
55	Student's t	$v=2$
56	Triangular	$m=204,07$ $a=170,06$ $b=83813,0$

57	Uniform	$a=-6905,5$ $b=17640,0$
58	Wakeby	$\alpha=1370,9$ $\beta=2,6279$ $\gamma=3061,6$ $\delta=0,32609$ $\xi=446,0$
59	Weibull	$\alpha=1,2627$ $\beta=5144,2$
60	Weibull (3P)	$\alpha=0,95268$ $\beta=5146,3$ $\gamma=170,06$
61	Erlang	No hay ajuste
62	Erlang (3P)	No hay ajuste
63	Johnson SU	No hay ajuste
64	Nakagami	No hay ajuste
65	Phased Bi-Weibull	No hay ajuste

Anexo 4. Ranking de la bondad del ajuste para las distribuciones teóricas de los datos de movimientos en masa de Molló-Queralbs

#	<u>Distribución</u>	<u>Kolmogorov</u> <u>Smirnov</u>		<u>Anderson</u> <u>Darling</u>		<u>Chi-cuadrado</u>	
		Estadístico	Ranking	Estadístico	Ranking	Estadístico	Ranking
58	Wakeby	0,02077	1	31,611	31	N/A	
28	Inv. Gaussian (3P)	0,02306	2	0,37441	4	4,5013	1
40	Lognormal (3P)	0,02459	3	0,26559	1	4,5509	2
37	Log-Pearson 3	0,02586	4	0,29978	2	4,6732	3
21	Gen. Gamma (4P)	0,02611	5	0,77932	8	9,4327	9
34	Log-Gamma	0,0266	6	0,41507	5	6,9378	6
39	Lognormal	0,02953	7	0,3704	3	6,2116	4
23	Gen. Pareto	0,03217	8	76,697	45	N/A	
45	Pearson 5 (3P)	0,03248	9	0,95743	9	12,36	12
47	Pearson 6 (4P)	0,03277	10	0,95805	10	11,943	11
46	Pearson 6	0,03329	11	0,59913	6	8,181	7
36	Log-Logistic (3P)	0,0357	12	0,77034	7	13,265	13
16	Frechet (3P)	0,03583	13	1,1959	13	13,708	14
2	Burr	0,04029	14	1,0508	11	10,446	10
13	Fatigue Life	0,04215	15	1,1652	12	6,2824	5
14	Fatigue Life (3P)	0,0437	16	1,297	14	8,2075	8
19	Gen. Extreme Value	0,04479	17	1,7568	16	17,185	16
35	Log-Logistic	0,04777	18	1,4819	15	16,593	15

22	Gen. Logistic	0,05124	19	2,4873	17	28,841	18
27	Inv. Gaussian	0,05584	20	2,5325	18	17,276	17
49	Phased Bi-Exponential	0,05696	21	5,4716	20	37,475	21
60	Weibull (3P)	0,06764	22	6,8665	23	52,939	25
12	Exponential (2P)	0,0678	23	8,462	25	44,039	24
30	Kumaraswamy	0,06861	24	6,5892	21	43,884	22
18	Gamma (3P)	0,06911	25	6,6042	22	43,927	23
59	Weibull	0,07558	26	10,283	28	55,411	26
11	Exponential	0,07644	27	8,8172	26	63,822	27
44	Pearson 5	0,07661	28	4,7879	19	36,276	19
15	Frechet	0,08153	29	7,4539	24	37,339	20
43	Pareto 2	0,09829	30	9,413	27	64,151	28
3	Burr (4P)	0,1277	31	18,269	29	104,73	29
20	Gen. Gamma	0,12993	32	20,528	30	115,09	31
29	Johnson SB	0,15886	33	352,77	55	N/A	
1	Beta	0,16132	34	31,894	32	186,69	36
4	Cauchy	0,19239	35	38,217	34	113,83	30
26	Hypersecant	0,19931	36	53,173	39	164,37	34
17	Gamma	0,20398	37	38,044	33	199,85	38
9	Error	0,21049	38	52,988	37	142,8	32
31	Laplace	0,21049	39	52,988	38	142,8	33
38	Logistic	0,21106	40	55,876	41	190,42	37

33	Levy (2P)	0,22641	41	47,131	36	221,7	39
52	Rayleigh (2P)	0,229	42	64,257	42	167,13	35
53	Reciprocal	0,23017	43	69,972	44	481,0	44
41	Normal	0,23367	44	68,1	43	231,76	40
32	Levy	0,24032	45	54,571	40	233,8	41
24	Gumbel Max	0,24288	46	46,077	35	266,25	42
51	Rayleigh	0,24504	47	133,21	48	414,71	43
25	Gumbel Min	0,27424	48	114,85	46	N/A	
57	Uniform	0,28998	49	175,78	50	N/A	
42	Pareto	0,34825	50	128,79	47	803,36	47
50	Power Function	0,35833	51	133,87	49	N/A	
54	Rice	0,40426	52	316,15	53	890,38	49
8	Dagum (4P)	0,4228	53	329,22	54	836,3	48
48	Pert	0,4463	54	284,98	52	646,43	45
10	Error Function	0,51398	55	202,12	51	732,35	46
56	Triangular	0,65758	56	714,21	56	2132,4	50
6	Chi-Squared (2P)	0,66117	57	63966,0	59	2449,4	52
5	Chi-Squared	0,66551	58	65662,0	60	2376,8	51
7	Dagum	0,67595	59	989,64	57	2804,6	53
55	Student's t	0,99998	60	9138,0	58	3,3598E+8	54
61	Erlang	No hay ajuste					
62	Erlang (3P)	No hay ajuste					

63	Johnson SU	No hay ajuste
64	Nakagami	No hay ajuste
65	Phased Bi-Weibull	No hay ajuste

Anexo 5. Base de datos del campo de densidad de roturas de Molló-Queralbs

Id	X_UTM_mE	Y_UTM_mN	#MM/Km2-FSyP>15°
1	425500	4684500	1,1
2	426500	4684500	1,1
3	427500	4684500	0,0
4	428500	4684500	0,0
5	429500	4684500	0,0
6	430500	4684500	0,0
7	431500	4684500	0,0
8	433500	4684500	0,0
9	432500	4684500	0,0
10	423500	4684500	0,0
11	424500	4684500	3,4
12	434500	4684500	0,0
13	435500	4684500	0,0
14	436500	4684500	0,0
15	437500	4684500	1,1
16	438500	4684500	5,6
18	439500	4684500	2,5
20	440500	4684500	3,5
21	441500	4684500	4,7
22	442500	4684500	6,5
23	443500	4684500	2,3
24	444500	4684500	0,0
25	445500	4684500	0,0
26	446500	4684500	0,0
27	447500	4684500	0,0
28	448500	4684500	0,0
29	449500	4684500	0,0
30	450500	4684500	0,0
31	451500	4684500	0,0
32	452500	4684500	0,0
33	453500	4684500	0,0
34	454500	4684500	0,0
35	455500	4684500	0,0
36	456500	4684500	0,0
37	425500	4682500	0,0
38	426500	4682500	0,0
39	427500	4682500	0,0
40	429500	4682500	0,0
41	430500	4682500	0,0
42	431500	4682500	0,0
43	432500	4682500	0,0
44	423500	4682500	0,0
46	434500	4682500	0,0
47	436500	4682500	0,0
48	437500	4682500	3,1
50	438500	4682500	0,0
52	439500	4682500	0,0
53	440500	4682500	0,0

54	441500	4682500	0,0
55	443500	4682500	0,0
56	444500	4682500	0,0
57	445500	4682500	0,0
58	447500	4682500	0,0
59	450500	4682500	0,0
60	451500	4682500	0,0
61	452500	4682500	0,0
62	453500	4682500	1,8
63	454500	4682500	0,0
64	455500	4682500	0,0
65	456500	4682500	0,0
66	428500	4682500	0,0
67	433500	4682500	0,0
68	435500	4682500	0,0
69	442500	4682500	0,0
70	446500	4682500	0,0
71	448500	4682500	0,0
72	449500	4682500	0,0
73	424500	4682500	0,0
74	423500	4683500	0,0
75	425500	4683500	0,0
76	424500	4683500	0,0
77	426500	4683500	0,0
78	427500	4683500	0,0
79	428500	4683500	0,0
80	429500	4683500	0,0
81	430500	4683500	0,0
82	431500	4683500	0,0
83	433500	4683500	1,2
84	432500	4683500	0,0
85	434500	4683500	0,0
86	435500	4683500	2,1
87	436500	4683500	0,0
88	437500	4683500	8,4
89	438500	4683500	9,5
90	439500	4683500	0,0
91	440500	4683500	0,0
92	441500	4683500	0,0
93	442500	4683500	0,0
94	443500	4683500	0,0
95	444500	4683500	0,0
96	445500	4683500	0,0
97	446500	4683500	0,0
98	447500	4683500	0,0
99	448500	4683500	0,0
100	449500	4683500	0,0
101	450500	4683500	0,0
102	451500	4683500	0,0
103	452500	4683500	0,0
104	453500	4683500	1,2
105	454500	4683500	0,0

106	455500	4683500	0,0
107	456500	4683500	0,0
108	423500	4685500	0,0
109	424500	4685500	6,4
110	425500	4685500	4,4
111	426500	4685500	0,0
112	427500	4685500	0,0
113	428500	4685500	0,0
114	429500	4685500	0,0
115	430500	4685500	0,0
116	431500	4685500	0,0
117	432500	4685500	0,0
118	433500	4685500	0,0
119	434500	4685500	0,0
120	435500	4685500	0,0
121	436500	4685500	1,0
122	437500	4685500	1,1
123	438500	4685500	3,2
124	439500	4685500	6,2
125	440500	4685500	6,9
126	441500	4685500	6,0
127	442500	4685500	3,6
128	443500	4685500	0,0
129	444500	4685500	0,0
130	445500	4685500	0,0
131	446500	4685500	0,0
132	447500	4685500	0,0
133	448500	4685500	0,0
134	449500	4685500	0,0
135	450500	4685500	0,0
136	451500	4685500	0,0
137	452500	4685500	0,0
138	453500	4685500	0,0
139	454500	4685500	0,0
140	455500	4685500	0,0
141	456500	4685500	0,0
142	439500	4686500	6,4
143	429500	4686500	0,0
144	437500	4686500	4,6
145	450500	4686500	0,0
146	424500	4686500	0,0
147	428500	4686500	0,0
148	433500	4686500	0,0
149	445500	4686500	0,0
150	443500	4686500	0,0
151	448500	4686500	0,0
152	427500	4686500	0,0
153	451500	4686500	0,0
154	434500	4686500	2,2
155	456500	4686500	0,0
156	449500	4686500	0,0
157	444500	4686500	0,0

158	435500	4686500	6,1
159	453500	4686500	0,0
160	441500	4686500	10,4
161	438500	4686500	4,9
162	436500	4686500	1,1
163	452500	4686500	0,0
164	426500	4686500	0,0
165	455500	4686500	0,0
166	425500	4686500	0,0
167	423500	4686500	0,0
168	442500	4686500	1,2
169	431500	4686500	0,0
170	432500	4686500	0,0
171	430500	4686500	0,0
172	440500	4686500	10,8
173	454500	4686500	0,0
174	446500	4686500	0,0
175	447500	4686500	0,0
176	423500	4687500	0,0
177	424500	4687500	0,0
178	425500	4687500	1,0
179	426500	4687500	0,0
180	427500	4687500	0,0
181	428500	4687500	0,0
182	429500	4687500	0,0
183	430500	4687500	0,0
184	431500	4687500	0,0
185	432500	4687500	0,0
186	433500	4687500	0,0
187	434500	4687500	0,0
188	435500	4687500	1,4
189	436500	4687500	0,0
190	437500	4687500	5,9
191	438500	4687500	13,3
192	439500	4687500	2,1
193	440500	4687500	3,1
194	441500	4687500	1,4
195	442500	4687500	0,0
196	443500	4687500	0,0
197	444500	4687500	0,0
198	445500	4687500	0,0
199	446500	4687500	0,0
200	447500	4687500	0,0
201	448500	4687500	0,0
202	449500	4687500	0,0
203	450500	4687500	0,0
204	451500	4687500	0,0
205	452500	4687500	0,0
206	453500	4687500	0,0
207	454500	4687500	0,0
208	455500	4687500	0,0
209	456500	4687500	0,0

210	423500	4688500	3,1
211	424500	4688500	0,0
212	425500	4688500	9,2
213	426500	4688500	1,1
214	427500	4688500	2,5
215	428500	4688500	2,0
216	429500	4688500	2,1
217	430500	4688500	2,2
218	431500	4688500	0,0
219	432500	4688500	0,0
220	433500	4688500	1,1
221	434500	4688500	5,3
222	435500	4688500	1,2
223	436500	4688500	1,4
224	437500	4688500	0,0
225	438500	4688500	5,4
226	439500	4688500	6,2
227	440500	4688500	0,0
228	441500	4688500	0,0
229	442500	4688500	1,3
230	443500	4688500	0,0
231	444500	4688500	0,0
232	445500	4688500	0,0
233	446500	4688500	0,0
234	447500	4688500	0,0
235	448500	4688500	0,0
236	449500	4688500	0,0
237	450500	4688500	0,0
238	451500	4688500	0,0
239	452500	4688500	0,0
240	453500	4688500	0,0
241	454500	4688500	0,0
242	455500	4688500	2,3
243	456500	4688500	3,4
244	423500	4689500	0,0
245	424500	4689500	0,0
246	425500	4689500	0,0
247	426500	4689500	0,0
248	427500	4689500	4,4
249	428500	4689500	0,0
250	429500	4689500	10,3
251	430500	4689500	0,0
252	431500	4689500	0,0
253	432500	4689500	3,3
254	433500	4689500	1,2
255	434500	4689500	1,1
256	435500	4689500	2,3
257	436500	4689500	1,3
258	437500	4689500	10,0
259	438500	4689500	3,9
260	439500	4689500	2,3
261	440500	4689500	3,4

262	441500	4689500	0,0
263	442500	4689500	5,2
264	443500	4689500	1,2
265	444500	4689500	23,8
266	445500	4689500	11,5
267	446500	4689500	1,1
268	447500	4689500	0,0
269	448500	4689500	0,0
270	449500	4689500	0,0
271	450500	4689500	0,0
272	451500	4689500	0,0
273	452500	4689500	0,0
274	453500	4689500	0,0
275	454500	4689500	9,1
276	455500	4689500	4,7
277	456500	4689500	6,2
278	423500	4690500	0,0
279	424500	4690500	0,0
280	425500	4690500	0,0
281	426500	4690500	2,5
282	427500	4690500	3,4
283	428500	4690500	2,5
284	429500	4690500	2,4
285	430500	4690500	0,0
286	431500	4690500	2,3
287	432500	4690500	3,2
288	433500	4690500	2,1
289	434500	4690500	4,7
290	435500	4690500	4,5
291	436500	4690500	7,0
292	437500	4690500	13,0
293	438500	4690500	10,3
294	439500	4690500	11,2
295	440500	4690500	1,0
296	441500	4690500	2,2
297	442500	4690500	1,1
298	443500	4690500	1,4
299	444500	4690500	13,5
300	445500	4690500	16,9
301	446500	4690500	9,7
302	447500	4690500	0,0
303	448500	4690500	0,0
304	449500	4690500	0,0
305	450500	4690500	0,0
306	451500	4690500	0,0
307	452500	4690500	0,0
308	453500	4690500	0,0
309	454500	4690500	11,1
310	455500	4690500	7,8
311	456500	4690500	0,0
313	424500	4691500	0,0
314	425500	4691500	0,0

315	426500	4691500	5,1
316	427500	4691500	2,4
317	428500	4691500	5,8
318	429500	4691500	0,0
319	430500	4691500	0,0
320	431500	4691500	0,0
321	432500	4691500	0,0
322	433500	4691500	0,0
323	434500	4691500	0,0
324	435500	4691500	11,9
325	436500	4691500	7,6
326	437500	4691500	4,3
327	438500	4691500	7,1
328	439500	4691500	7,2
329	440500	4691500	0,0
330	441500	4691500	6,0
331	442500	4691500	0,0
332	443500	4691500	2,2
333	444500	4691500	6,1
334	445500	4691500	10,7
335	446500	4691500	16,5
336	447500	4691500	10,4
337	448500	4691500	9,1
338	449500	4691500	5,9
339	450500	4691500	0,0
340	451500	4691500	0,0
341	452500	4691500	3,3
342	453500	4691500	8,5
343	455500	4691500	0,0
345	454500	4691500	12,4
349	426500	4692500	0,0
350	427500	4692500	0,0
351	428500	4692500	0,0
352	429500	4692500	1,7
353	430500	4692500	0,0
354	431500	4692500	1,1
355	432500	4692500	1,4
356	433500	4692500	0,0
357	434500	4692500	0,0
358	435500	4692500	1,8
359	436500	4692500	2,7
360	437500	4692500	1,3
361	438500	4692500	3,2
362	439500	4692500	2,0
363	440500	4692500	1,0
364	441500	4692500	1,1
365	442500	4692500	0,0
366	443500	4692500	3,1
367	444500	4692500	10,5
368	445500	4692500	16,8
369	446500	4692500	13,2
370	447500	4692500	19,6

371	448500	4692500	6,3
372	449500	4692500	2,1
373	450500	4692500	0,0
374	451500	4692500	0,0
375	452500	4692500	2,3
376	453500	4692500	0,0
384	427500	4693500	0,0
385	428500	4693500	0,0
386	429500	4693500	0,0
387	430500	4693500	0,0
388	431500	4693500	0,0
389	432500	4693500	0,0
390	433500	4693500	0,0
391	434500	4693500	0,0
392	435500	4693500	0,0
393	436500	4693500	0,0
394	437500	4693500	0,0
395	438500	4693500	0,0
396	439500	4693500	1,4
397	440500	4693500	1,1
398	441500	4693500	0,0
399	442500	4693500	0,0
400	443500	4693500	1,1
401	444500	4693500	0,0
402	445500	4693500	2,1
403	446500	4693500	1,2
404	447500	4693500	3,5
405	448500	4693500	2,3
406	449500	4693500	2,2
407	450500	4693500	0,0
408	451500	4693500	0,0
409	452500	4693500	0,0
410	453500	4693500	0,0
418	427500	4694500	0,0
419	428500	4694500	0,0
420	429500	4694500	0,0
421	430500	4694500	0,0
422	431500	4694500	0,0
423	432500	4694500	0,0
424	433500	4694500	2,9
425	434500	4694500	2,5
426	435500	4694500	5,6
427	437500	4694500	1,9
428	436500	4694500	0,0
429	438500	4694500	0,0
430	439500	4694500	9,8
431	440500	4694500	0,0
432	441500	4694500	0,0
433	442500	4694500	1,1
434	443500	4694500	0,0
435	444500	4694500	0,0
436	445500	4694500	1,1

437	446500	4694500	6,7
438	447500	4694500	1,2
439	448500	4694500	3,2
440	449500	4694500	0,0
441	450500	4694500	0,0
452	427500	4695500	0,0
453	428500	4695500	0,0
454	429500	4695500	0,0
455	430500	4695500	0,0
456	431500	4695500	0,0
457	432500	4695500	0,0
458	433500	4695500	1,4
459	434500	4695500	10,4
460	435500	4695500	5,2
461	436500	4695500	3,8
462	437500	4695500	0,0
463	438500	4695500	2,6
464	439500	4695500	7,0
465	440500	4695500	1,2
466	441500	4695500	1,2
467	442500	4695500	0,0
468	443500	4695500	1,1
469	444500	4695500	2,2
470	445500	4695500	0,0
471	446500	4695500	0,0
472	447500	4695500	0,0

Anexo 6. Distribuciones teóricas para el campo de densidad de roturas del área Molló-Queralbs

#	Distribución	Parámetros
1	Beta	$\alpha_1=0,51691$ $\alpha_2=2,5986$ $a=1,0$ $b=28,56$
2	Burr	$k=0,78476$ $\alpha=2,1818$ $\beta=2,7454$
3	Burr (4P)	$k=3,7492$ $\alpha=0,84041$ $\beta=10,907$ $\gamma=1,0$
4	Cauchy	$\sigma=1,6556$ $\mu=2,6516$
5	Chi-Squared	$\nu=4$
6	Chi-Squared (2P)	$\nu=3$ $\gamma=0,69588$
7	Dagum	$k=161,59$ $\alpha=1,3789$ $\beta=0,02906$
8	Dagum (4P)	$k=0,29875$ $\alpha=1,8138$ $\beta=6,3055$ $\gamma=1,0$
9	Erlang	$m=1$ $\beta=3,6548$
10	Error	$k=1,0$ $\sigma=4,181$ $\mu=4,7829$
11	Error Function	$h=0,16913$
12	Exponential	$\lambda=0,20908$
13	Exponential (2P)	$\lambda=0,26435$ $\gamma=1,0$
14	Fatigue Life	$\alpha=0,88022$ $\beta=3,4592$
15	Fatigue Life (3P)	$\alpha=1,6323$ $\beta=1,5883$ $\gamma=0,90368$
16	Frechet	$\alpha=1,44$ $\beta=2,2614$
17	Frechet (3P)	$\alpha=1,1041$ $\beta=1,6478$ $\gamma=0,46407$

18	Gamma	$\alpha=1,3087$ $\beta=3,6548$
19	Gamma (3P)	$\alpha=0,63758$ $\beta=5,3121$ $\gamma=1,0$
20	Gen. Extreme Value	$k=0,26103$ $\sigma=2,2692$ $\mu=2,6933$
21	Gen. Gamma	$k=1,0551$ $\alpha=1,3824$ $\beta=3,6548$
22	Gen. Gamma (4P)	$k=1,0136$ $\alpha=0,63644$ $\beta=5,9334$ $\gamma=1,0$
23	Gen. Logistic	$k=0,34909$ $\sigma=1,735$ $\mu=3,6266$
24	Gen. Pareto	$k=0,03503$ $\sigma=4,0552$ $\mu=0,58057$
25	Gumbel Max	$\sigma=3,2599$ $\mu=2,9013$
26	Gumbel Min	$\sigma=3,2599$ $\mu=6,6646$
27	Hypersecant	$\sigma=4,181$ $\mu=4,7829$
28	Inv. Gaussian	$\lambda=6,2593$ $\mu=4,7829$
29	Inv. Gaussian (3P)	$\lambda=1,881$ $\mu=4,1043$ $\gamma=0,67859$
30	Johnson SB	$\gamma=1,9735$ $\delta=0,94314$ $\lambda=32,829$ $\xi=-0,10566$
31	Kumaraswamy	$\alpha_1=0,50855$ $\alpha_2=1,4963$ $a=1,0$ $b=26,972$
32	Laplace	$\lambda=0,33825$ $\mu=4,7829$
33	Levy	$\sigma=2,4848$
34	Levy (2P)	$\sigma=0,79725$ $\gamma=0,87743$
35	Log-Gamma	$\alpha=2,1362$ $\beta=0,57139$
36	Log-Logistic	$\alpha=2,0341$ $\beta=3,3489$

37	Log-Logistic (3P)	$\alpha=0,94135$ $\beta=1,6811$ $\gamma=1,0$
38	Log-Pearson 3	$\alpha=95,783$ $\beta=0,08533$ $\gamma=-6,9526$
39	Logistic	$\sigma=2,3051$ $\mu=4,7829$
40	Lognormal	$\sigma=0,83257$ $\mu=1,2206$
41	Lognormal (3P)	$\sigma=1,4906$ $\mu=0,55123$ $\gamma=0,95186$
42	Normal	$\sigma=4,181$ $\mu=4,7829$
43	Pareto	$\alpha=0,81928$ $\beta=1$
44	Pareto 2	$\alpha=147,71$ $\beta=697,96$
45	Pearson 5	$\alpha=1,7592$ $\beta=4,3713$
46	Pearson 5 (3P)	$\alpha=1,3451$ $\beta=2,546$ $\gamma=0,36401$
47	Pearson 6	$\alpha_1=43,149$ $\alpha_2=1,8277$ $\beta=0,10721$
48	Pearson 6 (4P)	$\alpha_1=0,63086$ $\alpha_2=1,3169$ $\beta=4,3966$ $\gamma=1,0$
49	Pert	$m=1,0$ $a=1,0$ $b=27,416$
50	Phased Bi-Exponential	$\lambda_1=0,26135$ $\gamma_1=1$ $\lambda_2=0,6902$ $\gamma_2=4,1$
51	Phased Bi-Weibull	$\alpha_1=1,1162$ $\beta_1=1,0135$ $\gamma_1=1$ $\alpha_2=0,63056$ $\beta_2=3,5368$ $\gamma_2=0,2$
52	Power Function	$\alpha=0,33604$ $a=1,0$ $b=24,075$
53	Rayleigh	$\sigma=3,8162$
54	Rayleigh (2P)	$\sigma=5,3362$ $\gamma=-1,508$
55	Reciprocal	$a=1,0$ $b=23,8$

56	Rice	$\nu=8,0561\text{E-}4$ $\sigma=4,4861$
57	Student's t	$\nu=2$
58	Triangular	$m=0,99999$ $a=0,99999$ $b=23,992$
59	Uniform	$a=-2,4587$ $b=12,025$
60	Wakeby	$\alpha=-6,3014$ $\beta=2,9179$ $\gamma=6,3023$ $\delta=-0,17511$ $\xi=1,0282$
61	Weibull	$\alpha=1,3893$ $\beta=5,0309$
62	Weibull (3P)	$\alpha=0,73475$ $\beta=3,2936$ $\gamma=1,0$
63	Erlang (3P)	No hay ajuste
64	Johnson SU	No hay ajuste
65	Nakagami	No hay ajuste

Anexo 7. Ranking de la bondad del ajuste para las distribuciones teóricas del campo de densidad de roturas de Molló-Queralbs

#	<u>Distribución</u>	<u>Kolmogorov</u> <u>Smirnov</u>		<u>Anderson</u> <u>Darling</u>		<u>Chi-cuadrado</u>	
		Estadístico	Ranking	Estadístico	Ranking	Estadístico	Ranking
22	Gen. Gamma (4P)	0,06556	1	16,328	46	N/A	
60	Wakeby	0,06681	2	16,005	45	N/A	
62	Weibull (3P)	0,0737	3	16,538	47	N/A	
1	Beta	0,07992	4	2,96	12	10,452	4
19	Gamma (3P)	0,09044	5	17,372	49	N/A	
51	Phased Bi-Weibull	0,0939	6	9,2563	33	N/A	
8	Dagum (4P)	0,09687	7	17,153	48	N/A	
24	Gen. Pareto	0,09809	8	1,748	1	12,436	6
2	Burr	0,10002	9	2,5552	6	19,23	19
17	Frechet (3P)	0,10144	10	3,4666	17	22,416	21
46	Pearson 5 (3P)	0,10378	11	3,3236	15	31,442	31
41	Lognormal (3P)	0,10426	12	3,283	14	18,97	17
36	Log-Logistic	0,10497	13	2,7583	8	16,967	10
40	Lognormal	0,10586	14	2,4284	5	17,903	12
14	Fatigue Life	0,10612	15	2,1731	3	14,875	8
38	Log-Pearson 3	0,10658	16	2,3419	4	18,004	13
29	Inv. Gaussian (3P)	0,1073	17	3,6469	19	25,512	25
20	Gen. Extreme Value	0,10889	18	2,9559	11	18,083	14

47	Pearson 6	0,10972	19	2,7741	9	18,59	15
45	Pearson 5	0,11049	20	2,7788	10	18,806	16
3	Burr (4P)	0,11237	21	18,915	51	N/A	
16	Frechet	0,11395	22	3,4189	16	27,039	27
37	Log-Logistic (3P)	0,1149	23	5,3489	27	11,491	5
30	Johnson SB	0,11658	24	2,0803	2	5,534	1
5	Chi-Squared	0,11818	25	6,4712	29	24,083	22
23	Gen. Logistic	0,12133	26	3,5626	18	24,311	24
21	Gen. Gamma	0,12261	27	3,21	13	24,087	23
61	Weibull	0,13002	28	4,1667	22	28,883	29
18	Gamma	0,13428	29	2,6695	7	12,824	7
28	Inv. Gaussian	0,13967	30	4,0485	21	21,195	20
48	Pearson 6 (4P)	0,14385	31	5,0448	26	16,053	9
15	Fatigue Life (3P)	0,14427	32	3,6986	20	19,062	18
13	Exponential (2P)	0,14966	33	8,8449	31	48,026	41
35	Log-Gamma	0,15813	34	18,097	50	45,424	39
6	Chi-Squared (2P)	0,15963	35	11,58	39	53,817	43
25	Gumbel Max	0,16666	36	4,8444	25	17,239	11
52	Power Function	0,16674	37	23,635	55	N/A	
34	Levy (2P)	0,16794	38	6,2671	28	43,316	38
43	Pareto	0,1689	39	13,123	41	28,14	28
31	Kumaraswamy	0,17183	40	10,192	36	26,591	26

55	Reciprocal	0,17598	41	15,739	44	42,049	37
42	Normal	0,18279	42	8,8151	30	30,457	30
50	Phased Bi-Exponential	0,18866	43	31,693	56	94,219	48
12	Exponential	0,18867	44	4,4125	23	8,1558	2
44	Pareto 2	0,19062	45	4,5268	24	9,745	3
49	Pert	0,19167	46	15,09	43	34,829	33
39	Logistic	0,19663	47	8,97	32	38,798	36
54	Rayleigh (2P)	0,20476	48	9,8384	35	36,946	35
27	Hypersecant	0,20878	49	9,5764	34	47,099	40
10	Error	0,237	50	11,335	37	55,739	44
32	Laplace	0,237	51	11,335	38	55,739	45
59	Uniform	0,23881	52	44,487	58	N/A	
9	Erlang	0,23938	53	12,308	40	36,05	34
26	Gumbel Min	0,24566	54	22,839	54	53,798	42
4	Cauchy	0,25038	55	14,481	42	32,053	32
53	Rayleigh	0,252	56	22,123	53	74,172	46
56	Rice	0,3013	57	31,82	57	132,81	49
33	Levy	0,30161	58	21,837	52	88,842	47
58	Triangular	0,35533	59	64,156	60	146,24	51
7	Dagum	0,35682	60	48,412	59	137,21	50
11	Error Function	0,59452	61	95,939	61	190,54	52
57	Student's t	0,78868	62	265,51	62	1179,3	53

63	Erlang (3P)	No hay ajuste
64	Johnson SU	No hay ajuste
65	Nakagami	No hay ajuste

Anexo 8. Precipitación promedio por km² – Molló-Queralbs

Id	X_UTM_mE	Y_UTM_mN	PTProm(mm)
1	425500	4684500	778,5
2	426500	4684500	835,1
3	427500	4684500	823,8
4	428500	4684500	731,8
5	429500	4684500	630,8
6	430500	4684500	843,4
7	431500	4684500	767,1
8	433500	4684500	686,3
9	432500	4684500	694,0
10	423500	4684500	686,3
11	424500	4684500	770,1
12	434500	4684500	664,6
13	435500	4684500	693,3
14	436500	4684500	700,1
15	437500	4684500	872,6
16	438500	4684500	746,5
18	439500	4684500	720,7
20	440500	4684500	741,4
21	441500	4684500	800,7
22	442500	4684500	724,5
23	443500	4684500	572,3
24	444500	4684500	600,7
25	445500	4684500	675,9
26	446500	4684500	674,5
27	447500	4684500	691,1
28	448500	4684500	750,0
29	449500	4684500	745,6
30	450500	4684500	795,3
31	451500	4684500	881,0
32	452500	4684500	855,8
33	453500	4684500	740,8
34	454500	4684500	719,9
35	455500	4684500	703,4
36	456500	4684500	775,0
37	425500	4682500	837,4
38	426500	4682500	787,3
39	427500	4682500	831,0
40	429500	4682500	899,6
41	430500	4682500	837,5
42	431500	4682500	833,5
43	432500	4682500	833,4
44	423500	4682500	727,2
46	434500	4682500	787,4
47	436500	4682500	598,9
48	437500	4682500	601,2
50	438500	4682500	538,1
52	439500	4682500	668,9
53	440500	4682500	721,0
54	441500	4682500	777,9
55	443500	4682500	745,6

56	444500	4682500	668,0
57	445500	4682500	622,7
58	447500	4682500	613,8
59	450500	4682500	748,9
60	451500	4682500	838,9
61	452500	4682500	830,5
62	453500	4682500	857,8
63	454500	4682500	773,8
64	455500	4682500	774,3
65	456500	4682500	659,6
66	428500	4682500	737,4
67	433500	4682500	830,5
68	435500	4682500	784,7
69	442500	4682500	798,8
70	446500	4682500	618,7
71	448500	4682500	695,1
72	449500	4682500	855,3
73	424500	4682500	755,9
74	423500	4683500	700,9
75	425500	4683500	932,2
76	424500	4683500	827,9
77	426500	4683500	801,8
78	427500	4683500	713,5
79	428500	4683500	648,9
80	429500	4683500	624,7
81	430500	4683500	694,6
82	431500	4683500	760,7
83	433500	4683500	719,7
84	432500	4683500	840,2
85	434500	4683500	758,9
86	435500	4683500	851,0
87	436500	4683500	652,5
88	437500	4683500	666,3
89	438500	4683500	609,9
90	439500	4683500	633,6
91	440500	4683500	601,9
92	441500	4683500	672,6
93	442500	4683500	709,5
94	443500	4683500	721,7
95	444500	4683500	772,0
96	445500	4683500	786,0
97	446500	4683500	770,6
98	447500	4683500	646,9
99	448500	4683500	762,1
100	449500	4683500	864,0
101	450500	4683500	785,6
102	451500	4683500	806,3
103	452500	4683500	811,5
104	453500	4683500	745,2
105	454500	4683500	716,5
106	455500	4683500	671,3
107	456500	4683500	715,8

108	423500	4685500	778,9
109	424500	4685500	748,4
110	425500	4685500	706,1
111	426500	4685500	613,6
112	427500	4685500	739,2
113	428500	4685500	830,2
114	429500	4685500	819,3
115	430500	4685500	817,0
116	431500	4685500	705,8
117	432500	4685500	722,6
118	433500	4685500	745,0
119	434500	4685500	741,5
120	435500	4685500	800,6
121	436500	4685500	873,0
122	437500	4685500	778,5
123	438500	4685500	769,2
124	439500	4685500	632,5
125	440500	4685500	646,7
126	441500	4685500	692,0
127	442500	4685500	744,9
128	443500	4685500	716,6
129	444500	4685500	698,3
130	445500	4685500	623,1
131	446500	4685500	492,1
132	447500	4685500	599,5
133	448500	4685500	617,3
134	449500	4685500	705,1
135	450500	4685500	613,7
136	451500	4685500	673,4
137	452500	4685500	748,9
138	453500	4685500	804,4
139	454500	4685500	835,1
140	455500	4685500	863,0
141	456500	4685500	792,2
142	439500	4686500	625,7
143	429500	4686500	668,4
144	437500	4686500	770,4
145	450500	4686500	720,0
146	424500	4686500	804,1
147	428500	4686500	777,3
148	433500	4686500	760,9
149	445500	4686500	720,1
150	443500	4686500	649,9
151	448500	4686500	672,6
152	427500	4686500	737,2
153	451500	4686500	683,6
154	434500	4686500	785,8
155	456500	4686500	887,4
156	449500	4686500	734,9
157	444500	4686500	659,9
158	435500	4686500	736,1
159	453500	4686500	699,0

160	441500	4686500	759,3
161	438500	4686500	655,2
162	436500	4686500	688,8
163	452500	4686500	602,2
164	426500	4686500	716,1
165	455500	4686500	858,9
166	425500	4686500	707,2
167	423500	4686500	803,6
168	442500	4686500	690,3
169	431500	4686500	787,4
170	432500	4686500	757,3
171	430500	4686500	747,2
172	440500	4686500	732,3
173	454500	4686500	777,3
174	446500	4686500	683,0
175	447500	4686500	677,7
176	423500	4687500	789,1
177	424500	4687500	760,5
178	425500	4687500	742,9
179	426500	4687500	738,8
180	427500	4687500	734,9
181	428500	4687500	720,8
182	429500	4687500	821,7
183	430500	4687500	716,8
184	431500	4687500	762,6
185	432500	4687500	811,9
186	433500	4687500	799,6
187	434500	4687500	731,8
188	435500	4687500	675,0
189	436500	4687500	690,6
190	437500	4687500	708,2
191	438500	4687500	766,6
192	439500	4687500	896,9
193	440500	4687500	880,1
194	441500	4687500	712,5
195	442500	4687500	644,4
196	443500	4687500	771,0
197	444500	4687500	729,5
198	445500	4687500	747,6
199	446500	4687500	737,6
200	447500	4687500	712,0
201	448500	4687500	686,3
202	449500	4687500	670,6
203	450500	4687500	711,6
204	451500	4687500	666,2
205	452500	4687500	649,3
206	453500	4687500	765,6
207	454500	4687500	707,3
208	455500	4687500	750,6
209	456500	4687500	921,1
210	423500	4688500	803,0
211	424500	4688500	707,7

212	425500	4688500	776,3
213	426500	4688500	738,1
214	427500	4688500	738,0
215	428500	4688500	979,9
216	429500	4688500	916,1
217	430500	4688500	825,3
218	431500	4688500	781,6
219	432500	4688500	736,3
220	433500	4688500	830,4
221	434500	4688500	892,4
222	435500	4688500	723,6
223	436500	4688500	650,0
224	437500	4688500	783,1
225	438500	4688500	850,5
226	439500	4688500	850,4
227	440500	4688500	820,8
228	441500	4688500	804,2
229	442500	4688500	748,0
230	443500	4688500	771,5
231	444500	4688500	689,7
232	445500	4688500	641,8
233	446500	4688500	727,4
234	447500	4688500	753,9
235	448500	4688500	611,5
236	449500	4688500	692,7
237	450500	4688500	673,6
238	451500	4688500	726,8
239	452500	4688500	633,1
240	453500	4688500	645,2
241	454500	4688500	756,9
242	455500	4688500	774,4
243	456500	4688500	797,3
244	423500	4689500	819,2
245	424500	4689500	783,7
246	425500	4689500	766,8
247	426500	4689500	676,2
248	427500	4689500	878,1
249	428500	4689500	815,8
250	429500	4689500	910,4
251	430500	4689500	791,9
252	431500	4689500	775,3
253	432500	4689500	797,5
254	433500	4689500	710,7
255	434500	4689500	826,2
256	435500	4689500	735,6
257	436500	4689500	655,7
258	437500	4689500	803,8
259	438500	4689500	730,5
260	439500	4689500	703,3
261	440500	4689500	777,0
262	441500	4689500	855,5
263	442500	4689500	831,6

264	443500	4689500	721,4
265	444500	4689500	623,1
266	445500	4689500	737,1
267	446500	4689500	786,8
268	447500	4689500	853,9
269	448500	4689500	738,6
270	449500	4689500	668,5
271	450500	4689500	624,7
272	451500	4689500	715,8
273	452500	4689500	672,3
274	453500	4689500	612,3
275	454500	4689500	716,3
276	455500	4689500	766,4
277	456500	4689500	701,5
278	423500	4690500	611,2
279	424500	4690500	637,9
280	425500	4690500	722,7
281	426500	4690500	822,5
282	427500	4690500	898,5
283	428500	4690500	822,5
284	429500	4690500	776,4
285	430500	4690500	875,3
286	431500	4690500	960,9
287	432500	4690500	969,9
288	433500	4690500	854,7
289	434500	4690500	800,2
290	435500	4690500	752,0
291	436500	4690500	707,4
292	437500	4690500	701,1
293	438500	4690500	819,4
294	439500	4690500	907,8
295	440500	4690500	935,1
296	441500	4690500	903,3
297	442500	4690500	800,6
298	443500	4690500	672,4
299	444500	4690500	653,1
300	445500	4690500	804,3
301	446500	4690500	682,6
302	447500	4690500	847,0
303	448500	4690500	694,6
304	449500	4690500	661,1
305	450500	4690500	671,0
306	451500	4690500	774,8
307	452500	4690500	660,8
308	453500	4690500	740,3
309	454500	4690500	712,1
310	455500	4690500	723,5
311	456500	4690500	789,9
313	424500	4691500	686,4
314	425500	4691500	718,6
315	426500	4691500	706,7
316	427500	4691500	742,9

317	428500	4691500	713,6
318	429500	4691500	772,9
319	430500	4691500	889,5
320	431500	4691500	1093,2
321	432500	4691500	1062,0
322	433500	4691500	985,7
323	434500	4691500	998,8
324	435500	4691500	957,8
325	436500	4691500	756,6
326	437500	4691500	756,8
327	438500	4691500	876,0
328	439500	4691500	864,0
329	440500	4691500	822,5
330	441500	4691500	942,0
331	442500	4691500	831,8
332	443500	4691500	712,4
333	444500	4691500	733,0
334	445500	4691500	652,6
335	446500	4691500	815,1
336	447500	4691500	748,4
337	448500	4691500	669,5
338	449500	4691500	661,7
339	450500	4691500	746,6
340	451500	4691500	777,0
341	452500	4691500	658,1
342	453500	4691500	695,4
343	455500	4691500	650,8
345	454500	4691500	662,3
349	426500	4692500	803,0
350	427500	4692500	824,1
351	428500	4692500	792,5
352	429500	4692500	794,6
353	430500	4692500	962,0
354	431500	4692500	942,5
355	432500	4692500	1017,7
356	433500	4692500	1131,7
357	434500	4692500	1099,7
358	435500	4692500	999,1
359	436500	4692500	784,9
360	437500	4692500	849,6
361	438500	4692500	876,3
362	439500	4692500	893,0
363	440500	4692500	813,9
364	441500	4692500	743,9
365	442500	4692500	783,8
366	443500	4692500	859,8
367	444500	4692500	869,7
368	445500	4692500	769,0
369	446500	4692500	767,5
370	447500	4692500	822,4
371	448500	4692500	838,9
372	449500	4692500	859,5

373	450500	4692500	774,8
374	451500	4692500	647,4
375	452500	4692500	724,2
376	453500	4692500	556,6
384	427500	4693500	756,0
385	428500	4693500	736,8
386	429500	4693500	798,8
387	430500	4693500	920,9
388	431500	4693500	791,5
389	432500	4693500	796,0
390	433500	4693500	902,8
391	434500	4693500	1003,4
392	435500	4693500	801,8
393	436500	4693500	789,6
394	437500	4693500	786,8
395	438500	4693500	862,8
396	439500	4693500	846,7
397	440500	4693500	883,5
398	441500	4693500	891,0
399	442500	4693500	832,9
400	443500	4693500	803,8
401	444500	4693500	773,3
402	445500	4693500	844,5
403	446500	4693500	738,7
404	447500	4693500	765,7
405	448500	4693500	814,8
406	449500	4693500	788,2
407	450500	4693500	667,0
408	451500	4693500	587,1
409	452500	4693500	600,3
410	453500	4693500	515,7
418	427500	4694500	812,1
419	428500	4694500	812,0
420	429500	4694500	811,5
421	430500	4694500	801,6
422	431500	4694500	837,0
423	432500	4694500	822,0
424	433500	4694500	803,2
425	434500	4694500	763,8
426	435500	4694500	790,7
427	437500	4694500	803,6
428	436500	4694500	892,2
429	438500	4694500	896,7
430	439500	4694500	999,1
431	440500	4694500	855,7
432	441500	4694500	814,3
433	442500	4694500	842,4
434	443500	4694500	787,0
435	444500	4694500	699,1
436	445500	4694500	782,6
437	446500	4694500	792,3
438	447500	4694500	778,7

439	448500	4694500	769,2
440	449500	4694500	718,9
441	450500	4694500	614,2
452	427500	4695500	809,1
453	428500	4695500	830,9
454	429500	4695500	912,4
455	430500	4695500	876,9
456	431500	4695500	815,6
457	432500	4695500	847,7
458	433500	4695500	864,3
459	434500	4695500	725,3
460	435500	4695500	668,8
461	436500	4695500	768,0
462	437500	4695500	871,3
463	438500	4695500	915,5
464	439500	4695500	1040,3
465	440500	4695500	953,0
466	441500	4695500	741,8
467	442500	4695500	704,8
468	443500	4695500	814,4
469	444500	4695500	774,5
470	445500	4695500	784,4
471	446500	4695500	805,0
472	447500	4695500	898,0

Anexo 9. Distribuciones teóricas para el campo de precipitación promedio por km² del área Molló-Queralbs

#	Distribución	Parámetros
1	Beta	$\alpha_1=4,4078$ $\alpha_2=5,8774$ $a=492,1$ $b=1131,7$
2	Burr	$k=1,0612$ $\alpha=14,318$ $\beta=764,3$
3	Burr (4P)	$k=0,25761$ $\alpha=0,71448$ $\beta=1,5382$ $\gamma=492,1$
4	Cauchy	$\sigma=54,089$ $\mu=760,5$
5	Chi-Squared	$v=765$
6	Chi-Squared (2P)	$v=4381$ $\gamma=-3616,1$
7	Dagum	$k=274,92$ $\alpha=3,608$ $\beta=87,999$
8	Dagum (4P)	$k=2,3846$ $\alpha=0,27071$ $\beta=0,42547$ $\gamma=492,1$
9	Erlang	$m=65$ $\beta=11,622$
10	Erlang (3P)	$m=34$ $\beta=15,992$ $\gamma=215,19$
11	Error	$k=1,4141$ $\sigma=94,3$ $\mu=765,12$
12	Error Function	$h=0,0075$
13	Exponential	$\lambda=0,00131$
14	Exponential (2P)	$\lambda=0,00366$ $\gamma=492,1$
15	Fatigue Life	$\alpha=0,12246$ $\beta=759,43$
16	Fatigue Life (3P)	$\alpha=0,1196$ $\beta=777,49$ $\gamma=-17,93$
17	Frechet	$\alpha=10,1$ $\beta=716,97$

18	Frechet (3P)	$\alpha=2,1477$ $\beta=220,06$ $\gamma=481,74$
19	Gamma	$\alpha=65,833$ $\beta=11,622$
20	Gamma (3P)	$\alpha=34,387$ $\beta=15,992$ $\gamma=215,19$
21	Gen. Extreme Value	$k=-0,17569$ $\sigma=86,428$ $\mu=728,22$
22	Gen. Gamma	$k=1,0027$ $\alpha=66,597$ $\beta=11,622$
23	Gen. Gamma (4P)	$k=0,96445$ $\alpha=36,795$ $\beta=13,042$ $\gamma=216,78$
24	Gen. Logistic	$k=0,06187$ $\sigma=51,845$ $\mu=759,82$
25	Gen. Pareto	$k=-0,76695$ $\sigma=255,08$ $\mu=620,76$
26	Gumbel Max	$\sigma=73,525$ $\mu=722,68$
27	Gumbel Min	$\sigma=73,525$ $\mu=807,56$
28	Hypersecant	$\sigma=94,3$ $\mu=765,12$
29	Inv. Gaussian	$\lambda=50370,0$ $\mu=765,12$
30	Inv. Gaussian (3P)	$\lambda=54782,0$ $\mu=784,15$ $\gamma=-19,029$
31	Johnson SU	$\gamma=-1,19$ $\delta=2,7683$ $\lambda=222,09$ $\xi=660,06$
32	Kumaraswamy	$\alpha_1=3,169$ $\alpha_2=175,08$ $a=479,44$ $b=2106,6$
33	Laplace	$\lambda=0,015$ $\mu=765,12$
34	Levy	$\sigma=753,78$
35	Levy (2P)	$\sigma=229,92$ $\gamma=484,1$
36	Log-Gamma	$\alpha=2939,9$ $\beta=0,00226$

37	Log-Logistic	$\alpha=14,674$ $\beta=758,73$
38	Log-Logistic (3P)	$\alpha=14,02$ $\beta=729,18$ $\gamma=30,31$
39	Log-Pearson 3	$\alpha=7584,6$ $\beta=0,0014$ $\gamma=-4,0207$
40	Logistic	$\sigma=51,99$ $\mu=765,12$
41	Lognormal	$\sigma=0,12219$ $\mu=6,6326$
42	Lognormal (3P)	$\sigma=0,12229$ $\mu=6,6317$ $\gamma=0,63009$
43	Nakagami	$m=15,82$ $\Omega=5,9429E+5$
44	Normal	$\sigma=94,3$ $\mu=765,12$
45	Pareto	$\alpha=2,3048$ $\beta=492,1$
46	Pareto 2	$\alpha=100,24$ $\beta=53611,0$
47	Pearson 5	$\alpha=67,166$ $\beta=50628,0$
48	Pearson 5 (3P)	$\alpha=114,28$ $\beta=1,1267E+5$ $\gamma=-229,48$
49	Pearson 6	$\alpha_1=3071,9$ $\alpha_2=68,662$ $\beta=16,851$
50	Pearson 6 (4P)	$\alpha_1=52,819$ $\alpha_2=209,74$ $\beta=2405,1$ $\gamma=156,54$
51	Pert	$m=741,74$ $a=492,1$ $b=1131,7$
52	Phased Bi-Exponential	$\lambda_1=0,00185$ $\gamma_1=492$ $\lambda_2=0,02781$ $\gamma_2=261,9$
53	Power Function	$\alpha=1,0747$ $a=491,97$ $b=1131,7$
54	Rayleigh	$\sigma=610,48$
55	Rayleigh (2P)	$\sigma=204,89$ $\gamma=491,11$
56	Reciprocal	$a=492,1$ $b=1131,7$

57	Rice	$v=759,21$ $\sigma=94,565$
58	Student's t	$v=2$
59	Triangular	$m=736,3$ $a=492,1$ $b=1131,7$
60	Uniform	$a=601,79$ $b=928,46$
61	Wakeby	$\alpha=744,55$ $\beta=5,7143$ $\gamma=87,08$ $\delta=-0,09806$ $\xi=574,93$
62	Weibull	$\alpha=10,129$ $\beta=802,8$
63	Weibull (3P)	$\alpha=3,2068$ $\beta=319,25$ $\gamma=478,3$
64	Johnson SB	No hay ajuste
65	Phased Bi-Weibull	No hay ajuste

Anexo 10. Ranking de bondad del ajuste para las distribuciones teóricas de la precipitación promedio por km² del área Molló-Queralbs

#	<u>Distribución</u>	<u>Kolmogorov</u> <u>Smirnov</u>		<u>Anderson</u> <u>Darling</u>		<u>Chi-cuadrado</u>	
		Estadístico	Ranking	Estadístico	Ranking	Estadístico	Ranking
61	Wakeby	0,02644	1	19,919	42	N/A	
2	Burr	0,02695	2	0,25275	1	3,7315	4
48	Pearson 5 (3P)	0,02704	3	0,4522	6	5,3344	10
42	Lognormal (3P)	0,02728	4	0,46209	8	6,11	19
41	Lognormal	0,02729	5	0,46198	7	6,1099	18
50	Pearson 6 (4P)	0,02771	6	0,47911	12	5,8222	12
15	Fatigue Life	0,02772	7	0,47733	10	6,1064	17
16	Fatigue Life (3P)	0,02782	8	0,47391	9	6,4742	23
39	Log-Pearson 3	0,02791	9	0,47802	11	5,9548	14
24	Gen. Logistic	0,02808	10	0,27576	2	4,3506	5
23	Gen. Gamma (4P)	0,02832	11	0,48432	13	6,5916	26
20	Gamma (3P)	0,02855	12	0,49023	15	6,5902	25
21	Gen. Extreme Value	0,0286	13	0,58482	19	6,0068	15
36	Log-Gamma	0,02883	14	0,48533	14	6,1248	20
38	Log-Logistic (3P)	0,02923	15	0,28663	3	4,4495	6
31	Johnson SU	0,03211	16	0,29867	4	3,4233	3
22	Gen. Gamma	0,0329	17	0,52746	16	5,2132	9
37	Log-Logistic	0,03301	18	0,31331	5	5,0524	8

19	Gamma	0,034	19	0,59639	20	5,7409	11
47	Pearson 5	0,03445	20	0,57319	18	6,0449	16
49	Pearson 6	0,03465	21	0,57081	17	6,206	21
40	Logistic	0,03629	22	0,73663	21	1,8949	1
6	Chi-Squared (2P)	0,04206	23	0,91992	23	5,9514	13
11	Error	0,04221	24	0,87683	22	3,0545	2
43	Nakagami	0,04267	25	1,0895	24	10,043	29
44	Normal	0,04628	26	1,15	25	6,5182	24
30	Inv. Gaussian (3P)	0,04925	27	1,2728	27	6,3763	22
28	Hypersecant	0,04994	28	1,2411	26	4,9503	7
29	Inv. Gaussian	0,05012	29	1,3281	28	6,7567	27
1	Beta	0,0506	30	3,6344	36	11,466	30
63	Weibull (3P)	0,05072	31	2,0121	30	14,605	33
10	Erlang (3P)	0,05109	32	1,3773	29	7,3127	28
32	Kumaraswamy	0,05247	33	2,1552	31	16,043	34
57	Rice	0,05314	34	2,9153	33	20,043	36
9	Erlang	0,0593	35	2,4732	32	11,541	31
25	Gen. Pareto	0,06848	36	90,104	49	N/A	
62	Weibull	0,0687	37	6,2497	38	14,108	32
26	Gumbel Max	0,07245	38	3,619	35	17,407	35
33	Laplace	0,07743	39	3,3	34	24,44	37
4	Cauchy	0,08911	40	5,3768	37	28,534	38

60	Uniform	0,09434	41	85,284	48	N/A	
27	Gumbel Min	0,09635	42	18,297	41	31,597	39
17	Frechet	0,09728	43	7,2098	39	32,94	40
51	Pert	0,09932	44	14,232	40	73,685	41
18	Frechet (3P)	0,15537	45	26,534	45	N/A	
59	Triangular	0,16173	46	21,348	43	92,671	42
55	Rayleigh (2P)	0,17349	47	26,232	44	118,45	43
5	Chi-Squared	0,20354	48	141,94	54	340,81	44
56	Reciprocal	0,24387	49	57,062	46	418,73	45
53	Power Function	0,32003	50	71,879	47	423,96	46
14	Exponential (2P)	0,34788	51	90,581	50	555,37	47
54	Rayleigh	0,36827	52	99,318	51	973,16	49
45	Pareto	0,38293	53	107,15	52	763,05	48
35	Levy (2P)	0,48381	54	133,38	53	1132,6	50
13	Exponential	0,52915	55	156,73	55	2363,2	52
3	Burr (4P)	0,53364	56	168,9	56	N/A	
34	Levy	0,60021	57	199,66	57	3824,2	54
8	Dagum (4P)	0,60378	58	205,17	58	N/A	
46	Pareto 2	0,65794	59	252,52	59	2592,9	53
7	Dagum	0,74844	60	476,75	60	2274,2	51
52	Phased Bi-Exponential	0,99746	61	4871,3	61	N/A	
58	Student's t	1,0	62	5616,1	62	5,7926E+8	55

12	Error Function	1,0	63	20074,0	63	N/A
64	Johnson SB	No hay ajuste				
65	Phased Bi-Weibull	No hay ajuste				

Anexo 11. Relación entre los campos de densidad de roturas y precipitación del área Molló-Queralbs

Id	X_UTM_mE	Y_UTM_mN	Precipitación Promedio (mm)	Densidad Roturas (#Rot/Km²)
1	425500	4684500	778,5	1,1
2	426500	4684500	835,1	1,1
11	424500	4684500	770,1	3,4
15	437500	4684500	872,6	1,1
16	438500	4684500	746,5	5,6
18	439500	4684500	720,7	2,5
20	440500	4684500	741,4	3,5
21	441500	4684500	800,7	4,7
22	442500	4684500	724,5	6,5
23	443500	4684500	572,3	2,3
48	437500	4682500	601,2	3,1
62	453500	4682500	857,8	1,8
83	433500	4683500	719,7	1,2
86	435500	4683500	851,0	2,1
88	437500	4683500	666,3	8,4
89	438500	4683500	609,9	9,5
104	453500	4683500	745,2	1,2
109	424500	4685500	748,4	6,4
110	425500	4685500	706,1	4,4
121	436500	4685500	873,0	1,0
122	437500	4685500	778,5	1,1
123	438500	4685500	769,2	3,2
124	439500	4685500	632,5	6,2
125	440500	4685500	646,7	6,9
126	441500	4685500	692,0	6,0
127	442500	4685500	744,9	3,6
142	439500	4686500	625,7	6,4
144	437500	4686500	770,4	4,6
154	434500	4686500	785,8	2,2
158	435500	4686500	736,1	6,1
160	441500	4686500	759,3	10,4
161	438500	4686500	655,2	4,9
162	436500	4686500	688,8	1,1
168	442500	4686500	690,3	1,2
172	440500	4686500	732,3	10,8
178	425500	4687500	742,9	1,0
188	435500	4687500	675,0	1,4
190	437500	4687500	708,2	5,9
191	438500	4687500	766,6	13,3
192	439500	4687500	896,9	2,1
193	440500	4687500	880,1	3,1
194	441500	4687500	712,5	1,4
210	423500	4688500	803,0	3,1
212	425500	4688500	776,3	9,2
213	426500	4688500	738,1	1,1
214	427500	4688500	738,0	2,5
215	428500	4688500	979,9	2,0
216	429500	4688500	916,1	2,1

217	430500	4688500	825,3	2,2
220	433500	4688500	830,4	1,1
221	434500	4688500	892,4	5,3
222	435500	4688500	723,6	1,2
223	436500	4688500	650,0	1,4
225	438500	4688500	850,5	5,4
226	439500	4688500	850,4	6,2
229	442500	4688500	748,0	1,3
242	455500	4688500	774,4	2,3
243	456500	4688500	797,3	3,4
248	427500	4689500	878,1	4,4
250	429500	4689500	910,4	10,3
253	432500	4689500	797,5	3,3
254	433500	4689500	710,7	1,2
255	434500	4689500	826,2	1,1
256	435500	4689500	735,6	2,3
257	436500	4689500	655,7	1,3
258	437500	4689500	803,8	10,0
259	438500	4689500	730,5	3,9
260	439500	4689500	703,3	2,3
261	440500	4689500	777,0	3,4
263	442500	4689500	831,6	5,2
264	443500	4689500	721,4	1,2
265	444500	4689500	623,1	23,8
266	445500	4689500	737,1	11,5
267	446500	4689500	786,8	1,1
275	454500	4689500	716,3	9,1
276	455500	4689500	766,4	4,7
277	456500	4689500	701,5	6,2
281	426500	4690500	822,5	2,5
282	427500	4690500	898,5	3,4
283	428500	4690500	822,5	2,5
284	429500	4690500	776,4	2,4
286	431500	4690500	960,9	2,3
287	432500	4690500	969,9	3,2
288	433500	4690500	854,7	2,1
289	434500	4690500	800,2	4,7
290	435500	4690500	752,0	4,5
291	436500	4690500	707,4	7,0
292	437500	4690500	701,1	13,0
293	438500	4690500	819,4	10,3
294	439500	4690500	907,8	11,2
295	440500	4690500	935,1	1,0
296	441500	4690500	903,3	2,2
297	442500	4690500	800,6	1,1
298	443500	4690500	672,4	1,4
299	444500	4690500	653,1	13,5
300	445500	4690500	804,3	16,9
301	446500	4690500	682,6	9,7
309	454500	4690500	712,1	11,1
310	455500	4690500	723,5	7,8
315	426500	4691500	706,7	5,1

316	427500	4691500	742,9	2,4
317	428500	4691500	713,6	5,8
324	435500	4691500	957,8	11,9
325	436500	4691500	756,6	7,6
326	437500	4691500	756,8	4,3
327	438500	4691500	876,0	7,1
328	439500	4691500	864,0	7,2
330	441500	4691500	942,0	6,0
332	443500	4691500	712,4	2,2
333	444500	4691500	733,0	6,1
334	445500	4691500	652,6	10,7
335	446500	4691500	815,1	16,5
336	447500	4691500	748,4	10,4
337	448500	4691500	669,5	9,1
338	449500	4691500	661,7	5,9
341	452500	4691500	658,1	3,3
342	453500	4691500	695,4	8,5
345	454500	4691500	662,3	12,4
352	429500	4692500	794,6	1,7
354	431500	4692500	942,5	1,1
355	432500	4692500	1017,7	1,4
358	435500	4692500	999,1	1,8
359	436500	4692500	784,9	2,7
360	437500	4692500	849,6	1,3
361	438500	4692500	876,3	3,2
362	439500	4692500	893,0	2,0
363	440500	4692500	813,9	1,0
364	441500	4692500	743,9	1,1
366	443500	4692500	859,8	3,1
367	444500	4692500	869,7	10,5
368	445500	4692500	769,0	16,8
369	446500	4692500	767,5	13,2
370	447500	4692500	822,4	19,6
371	448500	4692500	838,9	6,3
372	449500	4692500	859,5	2,1
375	452500	4692500	724,2	2,3
396	439500	4693500	846,7	1,4
397	440500	4693500	883,5	1,1
400	443500	4693500	803,8	1,1
402	445500	4693500	844,5	2,1
403	446500	4693500	738,7	1,2
404	447500	4693500	765,7	3,5
405	448500	4693500	814,8	2,3
406	449500	4693500	788,2	2,2
424	433500	4694500	803,2	2,9
425	434500	4694500	763,8	2,5
426	435500	4694500	790,7	5,6
427	437500	4694500	803,6	1,9
430	439500	4694500	999,1	9,8
433	442500	4694500	842,4	1,1
436	445500	4694500	782,6	1,1
437	446500	4694500	792,3	6,7

438	447500	4694500	778,7	1,2
439	448500	4694500	769,2	3,2
458	433500	4695500	864,3	1,4
459	434500	4695500	725,3	10,4
460	435500	4695500	668,8	5,2
461	436500	4695500	768,0	3,8
463	438500	4695500	915,5	2,6
464	439500	4695500	1040,3	7,0
465	440500	4695500	953,0	1,2
466	441500	4695500	741,8	1,2
468	443500	4695500	814,4	1,1
469	444500	4695500	774,5	2,2

Anexo 12. Relación entre la precipitación promedio, la densidad de movimientos en masa y la pendiente topográfica para el área Molló-Queralbs

FID	X_UTM_mE	Y_UTM_mN	Pprom (mm)	No. MM	Área Rotura (m ² /km ²)	GRIDCODE	Pendiente (°)
0	423500	4682500	727	0	0	5	20-25
1	424500	4682500	756	0	0	5	20-25
2	425500	4682500	837	0	0	7	30-35
3	426500	4682500	787	0	0	7	30-35
4	427500	4682500	831	0	0	6	25-30
5	428500	4682500	737	0	0	4	15-20
6	429500	4682500	900	0	0	9	40-45
7	430500	4682500	837	0	0	6	25-30
8	431500	4682500	834	0	0	7	30-35
9	432500	4682500	833	0	0	8	35-40
10	433500	4682500	830	0	0	7	30-35
11	434500	4682500	787	0	0	6	25-30
12	435500	4682500	785	0	0	8	35-40
13	436500	4682500	599	0	0	2	5-10
14	437500	4682500	601	1	9792	7	30-35
15	438500	4682500	538	0	0	2	5-10
16	439500	4682500	669	0	0	5	20-25
17	440500	4682500	721	0	0	5	20-25
18	441500	4682500	778	0	0	5	20-25
19	442500	4682500	799	0	0	4	15-20
20	443500	4682500	746	0	0	5	20-25
21	444500	4682500	668	0	0	5	20-25
22	445500	4682500	623	0	0	4	15-20
23	446500	4682500	619	0	0	6	25-30
24	447500	4682500	614	0	0	6	25-30
25	448500	4682500	695	0	0	5	20-25
26	449500	4682500	855	0	0	7	30-35
27	450500	4682500	749	0	0	5	20-25
28	451500	4682500	839	0	0	5	20-25
29	452500	4682500	830	0	0	8	35-40
30	453500	4682500	858	1	14562	10	45-50
31	454500	4682500	774	0	0	2	5-10
32	455500	4682500	774	0	0	7	30-35
33	456500	4682500	660	0	0	5	20-25
34	423500	4683500	701	0	0	4	15-20
35	424500	4683500	828	0	0	5	20-25
36	425500	4683500	932	0	0	5	20-25
37	426500	4683500	802	0	0	1	0-5
38	427500	4683500	713	0	0	5	20-25
39	428500	4683500	649	0	0	2	5-10
40	429500	4683500	625	0	0	5	20-25
41	430500	4683500	695	0	0	6	25-30
42	431500	4683500	761	0	0	5	20-25
43	432500	4683500	840	0	0	6	25-30
44	433500	4683500	720	1	8303	3	10-15
45	434500	4683500	759	0	0	3	10-15

46	435500	4683500	851	2	3185	7	30-35
47	436500	4683500	653	0	0	1	0-5
48	437500	4683500	666	6	14637	4	15-20
49	438500	4683500	610	5	31055	6	25-30
50	439500	4683500	634	0	0	2	5-10
51	440500	4683500	602	0	0	4	15-20
52	441500	4683500	673	0	0	3	10-15
53	442500	4683500	710	0	0	5	20-25
54	443500	4683500	722	0	0	5	20-25
55	444500	4683500	772	0	0	7	30-35
56	445500	4683500	786	0	0	6	25-30
57	446500	4683500	771	0	0	3	10-15
58	447500	4683500	647	0	0	6	25-30
59	448500	4683500	762	0	0	6	25-30
60	449500	4683500	864	0	0	11	50-55
61	450500	4683500	786	0	0	4	15-20
62	451500	4683500	806	0	0	3	10-15
63	452500	4683500	811	0	0	2	5-10
64	453500	4683500	745	1	1975	7	30-35
65	454500	4683500	716	0	0	3	10-15
66	455500	4683500	671	0	0	7	30-35
67	456500	4683500	716	0	0	7	30-35
68	423500	4684500	686	0	0	4	15-20
69	424500	4684500	770	3	12381	5	20-25
70	425500	4684500	779	1	1445	7	30-35
71	426500	4684500	835	1	1387	6	25-30
72	427500	4684500	824	0	0	5	20-25
73	428500	4684500	732	0	0	6	25-30
74	429500	4684500	631	0	0	4	15-20
75	430500	4684500	843	0	0	7	30-35
76	431500	4684500	767	0	0	6	25-30
77	432500	4684500	694	0	0	5	20-25
78	433500	4684500	686	0	0	4	15-20
79	434500	4684500	665	0	0	5	20-25
80	435500	4684500	693	0	0	4	15-20
81	436500	4684500	700	0	0	2	5-10
82	437500	4684500	873	1	3231	5	20-25
83	438500	4684500	747	5	15607	5	20-25
84	439500	4684500	721	2	59135	7	30-35
85	440500	4684500	741	3	10656	9	40-45
86	441500	4684500	801	4	15681	7	30-35
87	442500	4684500	724	7	19430	6	25-30
88	443500	4684500	572	1	10978	4	15-20
89	444500	4684500	601	0	0	4	15-20
90	445500	4684500	676	0	0	1	0-5
91	446500	4684500	675	0	0	2	5-10
92	447500	4684500	691	0	0	1	0-5
93	448500	4684500	750	0	0	9	40-45
94	449500	4684500	746	0	0	7	30-35
95	450500	4684500	795	0	0	5	20-25
96	451500	4684500	881	0	0	5	20-25
97	452500	4684500	856	0	0	7	30-35

98	453500	4684500	741	0	0	4	15-20
99	454500	4684500	720	0	0	4	15-20
100	455500	4684500	703	0	0	8	35-40
101	456500	4684500	775	0	0	9	40-45
102	423500	4685500	779	0	0	4	15-20
103	424500	4685500	748	5	6006	8	35-40
104	425500	4685500	706	3	7299	4	15-20
105	426500	4685500	614	0	0	4	15-20
106	427500	4685500	739	0	0	7	30-35
107	428500	4685500	830	0	0	6	25-30
108	429500	4685500	819	0	0	7	30-35
109	430500	4685500	817	0	0	3	10-15
110	431500	4685500	706	0	0	3	10-15
111	432500	4685500	723	0	0	4	15-20
112	433500	4685500	745	0	0	5	20-25
113	434500	4685500	741	0	0	8	35-40
114	435500	4685500	801	0	0	4	15-20
115	436500	4685500	873	1	2009	6	25-30
116	437500	4685500	778	1	6171	5	20-25
117	438500	4685500	769	3	7678	7	30-35
118	439500	4685500	632	4	12173	5	20-25
119	440500	4685500	647	5	18024	5	20-25
120	441500	4685500	692	5	21676	5	20-25
121	442500	4685500	745	3	16814	7	30-35
122	443500	4685500	717	0	0	10	45-50
123	444500	4685500	698	0	0	3	10-15
124	445500	4685500	623	0	0	4	15-20
125	446500	4685500	492	0	0	4	15-20
126	447500	4685500	600	0	0	4	15-20
127	448500	4685500	617	0	0	6	25-30
128	449500	4685500	705	0	0	1	0-5
129	450500	4685500	614	0	0	10	45-50
130	451500	4685500	673	0	0	3	10-15
131	452500	4685500	749	0	0	8	35-40
132	453500	4685500	804	0	0	6	25-30
133	454500	4685500	835	0	0	6	25-30
134	455500	4685500	863	0	0	8	35-40
135	456500	4685500	792	0	0	5	20-25
136	423500	4686500	804	0	0	8	35-40
137	424500	4686500	804	0	0	6	25-30
138	425500	4686500	707	0	0	6	25-30
139	426500	4686500	716	0	0	6	25-30
140	427500	4686500	737	0	0	5	20-25
141	428500	4686500	777	0	0	7	30-35
142	429500	4686500	668	0	0	4	15-20
143	430500	4686500	747	0	0	4	15-20
144	431500	4686500	787	0	0	6	25-30
145	432500	4686500	757	0	0	6	25-30
146	433500	4686500	761	0	0	6	25-30
147	434500	4686500	786	2	7487	7	30-35
148	435500	4686500	736	5	47723	6	25-30
149	436500	4686500	689	1	4786	4	15-20

150	437500	4686500	770	4	31746	6	25-30
151	438500	4686500	655	3	79324	5	20-25
152	439500	4686500	626	4	29057	6	25-30
153	440500	4686500	732	9	93663	4	15-20
154	441500	4686500	759	9	36147	7	30-35
155	442500	4686500	690	1	9962	4	15-20
156	443500	4686500	650	0	0	5	20-25
157	444500	4686500	660	0	0	7	30-35
158	445500	4686500	720	0	0	5	20-25
159	446500	4686500	683	0	0	4	15-20
160	447500	4686500	678	0	0	8	35-40
161	448500	4686500	673	0	0	3	10-15
162	449500	4686500	735	0	0	6	25-30
163	450500	4686500	720	0	0	1	0-5
164	451500	4686500	684	0	0	11	50-55
165	452500	4686500	602	0	0	3	10-15
166	453500	4686500	699	0	0	5	20-25
167	454500	4686500	777	0	0	3	10-15
168	455500	4686500	859	0	0	7	30-35
169	456500	4686500	887	0	0	8	35-40
170	423500	4687500	789	0	0	4	15-20
171	424500	4687500	760	0	0	5	20-25
172	425500	4687500	743	1	8921	5	20-25
173	426500	4687500	739	0	0	5	20-25
174	427500	4687500	735	0	0	6	25-30
175	428500	4687500	721	0	0	4	15-20
176	429500	4687500	822	0	0	4	15-20
177	430500	4687500	717	0	0	5	20-25
178	431500	4687500	763	0	0	5	20-25
179	432500	4687500	812	0	0	2	5-10
180	433500	4687500	800	0	0	3	10-15
181	434500	4687500	732	0	0	4	15-20
182	435500	4687500	675	1	22299	5	20-25
183	436500	4687500	691	0	0	4	15-20
184	437500	4687500	708	4	26727	5	20-25
185	438500	4687500	767	11	72936	6	25-30
186	439500	4687500	897	2	15327	9	40-45
187	440500	4687500	880	3	17529	7	30-35
188	441500	4687500	713	1	19254	6	25-30
189	442500	4687500	644	0	0	5	20-25
190	443500	4687500	771	0	0	6	25-30
191	444500	4687500	729	0	0	5	20-25
192	445500	4687500	748	0	0	2	5-10
193	446500	4687500	738	0	0	6	25-30
194	447500	4687500	712	0	0	6	25-30
195	448500	4687500	686	0	0	5	20-25
196	449500	4687500	671	0	0	7	30-35
197	450500	4687500	712	0	0	7	30-35
198	451500	4687500	666	0	0	4	15-20
199	452500	4687500	649	0	0	3	10-15
200	453500	4687500	766	0	0	8	35-40
201	454500	4687500	707	0	0	9	40-45

202	455500	4687500	751	0	0	2	5-10
203	456500	4687500	921	0	0	11	50-55
204	423500	4688500	803	3	5007	7	30-35
205	424500	4688500	708	0	0	3	10-15
206	425500	4688500	776	9	41610	6	25-30
207	426500	4688500	738	1	3689	5	20-25
208	427500	4688500	738	2	8783	5	20-25
209	428500	4688500	980	2	13801	10	45-50
210	429500	4688500	916	1	2087	9	40-45
211	430500	4688500	825	2	10176	10	45-50
212	431500	4688500	782	0	0	7	30-35
213	432500	4688500	736	0	0	5	20-25
214	433500	4688500	830	1	7067	11	50-55
215	434500	4688500	892	5	57321	6	25-30
216	435500	4688500	724	1	15595	9	40-45
217	436500	4688500	650	1	8608	7	30-35
218	437500	4688500	783	0	0	5	20-25
219	438500	4688500	851	5	47324	6	25-30
220	439500	4688500	850	6	33036	8	35-40
221	440500	4688500	821	0	0	9	40-45
222	441500	4688500	804	0	0	4	15-20
223	442500	4688500	748	1	847	7	30-35
224	443500	4688500	771	0	0	6	25-30
225	444500	4688500	690	0	0	4	15-20
226	445500	4688500	642	0	0	4	15-20
227	446500	4688500	727	0	0	5	20-25
228	447500	4688500	754	0	0	4	15-20
229	448500	4688500	612	0	0	4	15-20
230	449500	4688500	693	0	0	5	20-25
231	450500	4688500	674	0	0	5	20-25
232	451500	4688500	727	0	0	8	35-40
233	452500	4688500	633	0	0	2	5-10
234	453500	4688500	645	0	0	2	5-10
235	454500	4688500	757	0	0	6	25-30
236	455500	4688500	774	2	16718	7	30-35
237	456500	4688500	797	2	7865	7	30-35
238	423500	4689500	819	0	0	8	35-40
239	424500	4689500	784	0	0	6	25-30
240	425500	4689500	767	0	0	3	10-15
241	426500	4689500	676	0	0	5	20-25
242	427500	4689500	878	4	11568	6	25-30
243	428500	4689500	816	0	0	5	20-25
244	429500	4689500	910	10	33821	10	45-50
245	430500	4689500	792	0	0	7	30-35
246	431500	4689500	775	0	0	5	20-25
247	432500	4689500	798	3	10602	5	20-25
248	433500	4689500	711	1	53122	4	15-20
249	434500	4689500	826	1	18138	6	25-30
250	435500	4689500	736	2	10771	5	20-25
251	436500	4689500	656	1	12504	4	15-20
252	437500	4689500	804	9	20993	6	25-30
253	438500	4689500	730	3	8162	5	20-25

254	439500	4689500	703	2	6167	9	40-45
255	440500	4689500	777	3	8724	4	15-20
256	441500	4689500	856	0	0	7	30-35
257	442500	4689500	832	5	12086	5	20-25
258	443500	4689500	721	1	2717	4	15-20
259	444500	4689500	623	16	37824	5	20-25
260	445500	4689500	737	9	26624	6	25-30
261	446500	4689500	787	1	2525	11	50-55
262	447500	4689500	854	0	0	5	20-25
263	448500	4689500	739	0	0	5	20-25
264	449500	4689500	669	0	0	5	20-25
265	450500	4689500	625	0	0	3	10-15
266	451500	4689500	716	0	0	8	35-40
267	452500	4689500	672	0	0	7	30-35
268	453500	4689500	612	0	0	3	10-15
269	454500	4689500	716	7	43808	7	30-35
270	455500	4689500	766	5	19909	8	35-40
271	456500	4689500	702	2	33797	5	20-25
272	423500	4690500	611	0	0	2	5-10
273	424500	4690500	638	0	0	9	40-45
274	425500	4690500	723	0	0	4	15-20
275	426500	4690500	823	2	13352	6	25-30
276	427500	4690500	898	3	11658	7	30-35
277	428500	4690500	822	2	5235	4	15-20
278	429500	4690500	776	2	5085	6	25-30
279	430500	4690500	875	0	0	9	40-45
280	431500	4690500	961	2	6593	8	35-40
281	432500	4690500	970	3	37136	7	30-35
282	433500	4690500	855	2	21524	7	30-35
283	434500	4690500	800	4	23568	7	30-35
284	435500	4690500	752	4	19821	5	20-25
285	436500	4690500	707	5	20125	6	25-30
286	437500	4690500	701	11	20645	6	25-30
287	438500	4690500	819	9	54791	6	25-30
288	439500	4690500	908	11	30819	7	30-35
289	440500	4690500	935	1	2648	7	30-35
290	441500	4690500	903	2	2792	8	35-40
291	442500	4690500	801	1	994	5	20-25
292	443500	4690500	672	1	2206	4	15-20
293	444500	4690500	653	10	22813	7	30-35
294	445500	4690500	804	16	34164	5	20-25
295	446500	4690500	683	8	19613	6	25-30
296	447500	4690500	847	0	0	10	45-50
297	448500	4690500	695	0	0	6	25-30
298	449500	4690500	661	0	0	1	0-5
299	450500	4690500	671	0	0	5	20-25
300	451500	4690500	775	0	0	5	20-25
301	452500	4690500	661	0	0	6	25-30
302	453500	4690500	740	0	0	4	15-20
303	454500	4690500	712	9	32745	5	20-25
304	455500	4690500	724	4	143760	5	20-25
305	456500	4690500	790	0	0	7	30-35

306	424500	4691500	686	0	0	4	15-20
307	425500	4691500	719	0	0	6	25-30
308	426500	4691500	707	3	43358	4	15-20
309	427500	4691500	743	1	18158	5	20-25
310	428500	4691500	714	3	21485	6	25-30
311	429500	4691500	773	0	0	9	40-45
312	430500	4691500	889	0	0	7	30-35
313	431500	4691500	1093	0	0	11	50-55
314	432500	4691500	1062	0	0	13	60-65
315	433500	4691500	986	0	0	8	35-40
316	434500	4691500	999	0	0	11	50-55
317	435500	4691500	958	4	17679	8	35-40
318	436500	4691500	757	5	30083	6	25-30
319	437500	4691500	757	4	50856	4	15-20
320	438500	4691500	876	7	46098	9	40-45
321	439500	4691500	864	7	21414	7	30-35
322	440500	4691500	823	0	0	6	25-30
323	441500	4691500	942	6	29248	4	15-20
324	442500	4691500	832	0	0	9	40-45
325	443500	4691500	712	2	1696	5	20-25
326	444500	4691500	733	5	12455	5	20-25
327	445500	4691500	653	7	18523	4	15-20
328	446500	4691500	815	16	22558	5	20-25
329	447500	4691500	748	9	64364	4	15-20
330	448500	4691500	669	6	107679	5	20-25
331	449500	4691500	662	4	14038	4	15-20
332	450500	4691500	747	0	0	6	25-30
333	451500	4691500	777	0	0	8	35-40
334	452500	4691500	658	2	19605	5	20-25
335	453500	4691500	695	6	43520	6	25-30
336	454500	4691500	662	2	23648	5	20-25
337	455500	4691500	651	0	0	2	5-10
338	426500	4692500	803	0	0	4	15-20
339	427500	4692500	824	0	0	8	35-40
340	428500	4692500	793	0	0	6	25-30
341	429500	4692500	795	1	16828	5	20-25
342	430500	4692500	962	0	0	10	45-50
343	431500	4692500	942	1	6651	7	30-35
344	432500	4692500	1018	1	3804	7	30-35
345	433500	4692500	1132	0	0	6	25-30
346	434500	4692500	1100	0	0	13	60-65
347	435500	4692500	999	1	4671	10	45-50
348	436500	4692500	785	2	6246	9	40-45
349	437500	4692500	850	1	4381	6	25-30
350	438500	4692500	876	3	4669	6	25-30
351	439500	4692500	893	2	1901	7	30-35
352	440500	4692500	814	1	734	7	30-35
353	441500	4692500	744	1	10973	5	20-25
354	442500	4692500	784	0	0	6	25-30
355	443500	4692500	860	3	5728	6	25-30
356	444500	4692500	870	10	22568	7	30-35
357	445500	4692500	769	11	39728	5	20-25

358	446500	4692500	767	12	40031	7	30-35
359	447500	4692500	822	18	90556	6	25-30
360	448500	4692500	839	6	16151	6	25-30
361	449500	4692500	859	2	7456	5	20-25
362	450500	4692500	775	0	0	7	30-35
363	451500	4692500	647	0	0	2	5-10
364	452500	4692500	724	2	11861	5	20-25
365	453500	4692500	557	0	0	1	0-5
366	427500	4693500	756	0	0	6	25-30
367	428500	4693500	737	0	0	3	10-15
368	429500	4693500	799	0	0	6	25-30
369	430500	4693500	921	0	0	12	55-60
370	431500	4693500	791	0	0	5	20-25
371	432500	4693500	796	0	0	4	15-20
372	433500	4693500	903	0	0	7	30-35
373	434500	4693500	1003	0	0	8	35-40
374	435500	4693500	802	0	0	5	20-25
375	436500	4693500	790	0	0	7	30-35
376	437500	4693500	787	0	0	5	20-25
377	438500	4693500	863	0	0	7	30-35
378	439500	4693500	847	1	5547	6	25-30
379	440500	4693500	884	1	2753	9	40-45
380	441500	4693500	891	0	0	7	30-35
381	442500	4693500	833	0	0	4	15-20
382	443500	4693500	804	1	18067	6	25-30
383	444500	4693500	773	0	0	7	30-35
384	445500	4693500	845	2	3457	9	40-45
385	446500	4693500	739	1	1672	6	25-30
386	447500	4693500	766	3	7059	5	20-25
387	448500	4693500	815	2	1798	5	20-25
388	449500	4693500	788	2	966	5	20-25
389	450500	4693500	667	0	0	7	30-35
390	451500	4693500	587	0	0	6	25-30
391	452500	4693500	600	0	0	3	10-15
392	453500	4693500	516	0	0	2	5-10
393	427500	4694500	812	0	0	3	10-15
394	428500	4694500	812	0	0	6	25-30
395	429500	4694500	811	0	0	4	15-20
396	430500	4694500	802	0	0	1	0-5
397	431500	4694500	837	0	0	5	20-25
398	432500	4694500	822	0	0	6	25-30
399	433500	4694500	803	2	23785	8	35-40
400	434500	4694500	764	2	7946	6	25-30
401	435500	4694500	791	5	24934	6	25-30
402	436500	4694500	892	0	0	6	25-30
403	437500	4694500	804	1	22620	7	30-35
404	438500	4694500	897	0	0	6	25-30
405	439500	4694500	999	8	24853	6	25-30
406	440500	4694500	856	0	0	7	30-35
407	441500	4694500	814	0	0	7	30-35
408	442500	4694500	842	1	5690	5	20-25
409	443500	4694500	787	0	0	9	40-45

410	444500	4694500	699	0	0	4	15-20
411	445500	4694500	783	1	7940	4	15-20
412	446500	4694500	792	6	17123	7	30-35
413	447500	4694500	779	1	1510	6	25-30
414	448500	4694500	769	2	2794	4	15-20
415	449500	4694500	719	0	0	2	5-10
416	450500	4694500	614	0	0	1	0-5
417	427500	4695500	809	0	0	5	20-25
418	428500	4695500	831	0	0	5	20-25
419	429500	4695500	912	0	0	10	45-50
420	430500	4695500	877	0	0	8	35-40
421	431500	4695500	816	0	0	5	20-25
422	432500	4695500	848	0	0	6	25-30
423	433500	4695500	864	1	11596	6	25-30
424	434500	4695500	725	5	54448	6	25-30
425	435500	4695500	669	3	7611	4	15-20
426	436500	4695500	768	3	29324	6	25-30
427	437500	4695500	871	0	0	6	25-30
428	438500	4695500	915	2	18613	6	25-30
429	439500	4695500	1040	5	43686	7	30-35
430	440500	4695500	953	1	3314	9	40-45
431	441500	4695500	742	1	3054	5	20-25
432	442500	4695500	705	0	0	4	15-20
433	443500	4695500	814	1	3249	6	25-30
434	444500	4695500	775	2	20329	4	15-20
435	445500	4695500	784	0	0	6	25-30
436	446500	4695500	805	0	0	6	25-30
437	447500	4695500	898	0	0	6	25-30

Anexos: Zona Barruera-Vielha

Anexo 13. Litología Barruera-Vielha (ITGE, 1994)

La litología del área de Barruera-Vielha abarca la parte oriental de las planchas geológicas de Bossost_148 y Benasque_180 y la occidental de las planchas Isil_149 y Esterri_181. De acuerdo a los epígrafes que existen dentro del área de estudio, las litologías presentes en ella son las que se describen a continuación (se transcribe en Catalán, tal cual está descrita en la leyenda de dichas planchas y se organizan de acuerdo a la escala del tiempo geológico).

.....CÁMBRIANO-ORDOVÍCICO

çorgl: Alternança rítmica de gresos i lutites, en capetes centimètriques. Les lutites poden ser negres. El límit entre les unitats mm_ÇOrp i ÇOrgl no és fàcil de diferenciar en molts indrets. La unitat ÇOrgl se situa sobre mm_ÇOrp. Unitat compressiva que engloba a casi tota la resta d'unitats del Cambroordovicià. Descrita com formació Jujols o grup Jujols. Edat: Cambroordovicià. Alguns autors indiquen Cambrià superior i Ordovicià inferior.

..... ORDOVÍCICO

orbc: Conglomerats molt quarsítics. Contenen clastes angulosos de quars, lídites, quarcites, esquists i pissarres. La matriu és de gra fi. Es disposen discordants sobre els materials del Cambroordovicià. Tenen una potència d'ordre decamètric. Són interpretats com dipòsits de "debris-flow", amb direcció dels canals N-S. La distribució de canals pot indicar una procedència del S. Descrits com formació Rabassa. Edat: Caradocià- Ashgílià. *Ordovícico Superior*

orgm: Gresos, microconglomerats, lutites i volcanoclàstics. Poden tenir una potència de 700 metres. Les capes estan ordenades en seqüències granocreixents, d'ordre decimètric o mètric. Hom hi pot observar bases erosives, granoclassificació i laminacions encreuades. Els grans són de quars, caolí, i clorita. També s'hi observa algun fòssil de braquiòpode, tentaculites, crinoides i briozous. Descrits com formació Cava. Edat: Caradocià Ashgil.lià.

orst: Lutites carbonàtiques amb restes de nòduls carbonatats dissolts. Descrites com a "Schistes troues". Localment els nòduls dissolts són en realitat fòssils de braquiòpodes, crinoids, coralls o briozous. Descrits com a formacions Estana i Ansovell (full 217). Edat: Caradocià-Ashgil.lià.

orva: Gresos quarsifeldspàtics, roques volcàniques àcides

::::::::::::SILÚRICO

sl: Lutites negres, localment amb graptòlits. Poden presentar una potència de 100 metres. Localment tenen intercalacions centimètriques de lutites de colors més clars, on s'ha identificat fòssils de trilobits. A la part alta s'observen lutites amb nòduls i nivells de calcàries que poden presentar fòssils de braquiòpodes, ostràcodes, foraminífers aglutinats i conodonts. Ambient sedimentari de plataforma anòxica, que progressivament s'oxigena. Edat: Silurià.

::::::::::::SILÚRICO-DEVÓNICO

SDc1: Nivell de calcàries conegut com 'Calcària Basal'. Calcàries grises, generalment molt recristalitzades, amb intercalacions lutíques, riques en chert i sovint dolomititzades. Edat: Silurià superior, Emsià.

SDpc: Pissarres negres riques en pirita, molt homogènies, entre les quals es reconeixen nivells de calcàries amb ortoceràtids. Edat: Silurià - Devonian inferior. Llandoveryà - Lochkovià.

.....DEVÓNICO INFERIOR

Dcm: Calcària microsparítica de color gris fosc. A la base està afectada parcialment per fenòmens de dolimitització o recristal·lització. Es troben organitzades en nivells decimètrics d'aspecte massiu en el paisatge. Assoleix una potència d'uns 100 m i s'aprima cap a l'est quedant reduïda a 50 m. L'ambient sedimentari es correspon amb una plataforma marina. Formació Castanesa. Edat: Devonià inferior, Gedinnià-Emsià.

dcn1: Pissarres i calcàries. Formació Rueda. Devonià inferior.

dcn2: Calcàries. Formació Basibé. Devonià inferior.

Dcnq: Quarsites amb alguna intercalació de dolomia a la base. Són nivells decimètrics amb tendència estratocreixent. En general no presenten estratificació encreuada. Al microscopi s'observa el quars ben classificat amb feldspats i minerals pesants com a accessoris. La potència màxima és de 10 m. Es troben intercalades entre la formació Basibé (Dcn2). Edat: Devonià inferior.

dcr: Calcàries noduloses rogenques. Formació Mañanet. Devonià inferior.

.....DEVÓNICO MEDIO

Dgpa: Successió de fins a 130 m de potència, formada per una alternança centimètrica a milimètrica de gresos i lutites, amb calcàries fosques a sostre. El predomini dels gresos es fa més patent a la part inferior de la successió. Passen, lateralment, a la unitat Dpf. "Gresos d'Auba". Edat: Devonià mitjà, Givetjà.

.....DEVÓNICO SUPERIOR

Dcma: Calcàries. Calcàries grises, 'taulejades', i calcàries grises i blanques, de gra fi, que sovint es troben dolomititzades. "Calcària de Montcorbissum", "Calcàries d'Auran". Al full 149-Isil afloren calcàries riques en crinoïdeus i

coralls silicificats, 'Calcàries amb Coralls' i calcàries blanques o grises d'aspecte massiu, de vegades recristalitzades, les 'Calcàries de Sant Esteve'.

Edat: Devonià mig - Devonià superior.

Db: Successió siliciclàstica formada per capes decimètriques i centimètriques de lutites verdoses, de vegades grises i gresos de gra fi. S'hi reconeixen diverses estructures sedimentàries, entre les quals destaquen les granoclassificacions, les laminacions paral·leles i creuades, els ripple marks i els slumps d'escala centimètrica, que indiquen una sedimentació en un medi inestable. "Alternança de Riu Nere", 'Gresos Gradats'. Edat: Devonià superior, Frasnian?.

Dp1: Alternances mètriques i decimètriques de quarsites i lutites negres. S'hi observen granoclassificacions, laminacions paral·leles i creuades i estructures de càrrega. Ocasionalment, intercalen capes de 10 a 50 cm de calcàries de gra fi i color gris. Edat: Devonià superior.

Dp1q: Nivells quarsita que es diferencien dins la unitat Dp1. Edat: Devonià superior.

dpcg: Pissarres fosques amb gresos i calcàries. Els gresos, carbonatats, són de gra fi, amb quars, clorita, sericita, zircó i turmalina. Les calcàries, fosques, es disposen en capes lenticulars centimètriques. Edat: Famennian inferior.

..... DEVÓNICO-CARBONÍFERO

DCacb: Calcàries amb ammonoïdeus. Presenta un aspecte massiu. La part baixa està formada per calcàries de color gris a rosades disposades en nivells decimètrics que cap al sostre es fan més brunes i taulejades. Les calcàries rosades contenen ammonoïdeus i crinoïdeus. La potència és de 70-90 metres. Edat: Devonià superior-Carbonífer inferior, Famennian-Namurian.

.....CARBONÍFERO-PÉRMICO

mc_Db: Fil.lites pigallades, corneanes i marbres. Materials de la unitat Db afectats per metamorfisme de contacte. Edat del metamorfisme: Carbonífer-Permià.

mc_DCacb: Marbres. Materials de la unitat Dcacb afectats per metamorfisme de contacte. Edat del metamorfisme: Carbonífer-Permià.

mc_Dcm: Marbres. Materials de la unitat Dcm afectats per metamorfisme de contacte. Edat del metamorfisme: Carbonífer-Permià.

mc_Dcma: Marbres. Materials de la unitat Dcma afectats per metamorfisme de contacte. Edat del metamorfisme: Carbonífer-Permià.

mc_Dcr: Marbres. Materials de la unitat Dcr afectats per metamorfisme de contacte. Edat del metamorfisme: Carbonífer-Permià.

mc_Dpf: Fil.lites pigallades i marbres. Materials de la unitat Dpf afectats per metamorfisme de contacte. Edat del metamorfisme: Carbonífer-Permià.

.....

mc_SDcpl: Marbres, fil.lites pigallades i corneanes. Materials de la unitat SDcpl afectats per metamorfisme de contacte. Edat del metamorfisme: Carbonífer-Permià.

mc_SDpc: Fil.lites negres, corneanes i marbres. Materials de la unitat SDpc afectats per metamorfisme de contacte. Edat del metamorfisme: Carbonífer-Permià.

fap: Filons d'aplites, pegmatites, leucogranits porfírics i pòrfirs leucogranítics. Les aplites presenten textura holocristal·lina, homogranular al·lotriomòrfica aplítica. Els minerals fonamentals són: quars, feldspat potàssic i plagiòclasi. Les plagioclasis són hipidiomòrfiques i maclades, el feldspat potàssic presenta

ocasionalment pertites i el quars ocupa posicions intersticials entre els feldspats. Els components accessoris són: muscovita, biotita, hematites, apatita epidota i zircó. Les pegmatites tenen textura al·lotriomòrfica heterogranular amb intercreixement gràfics entre el quars i l'ortosa. Els minerals essencials són: quars, ortosa i plagioclasi. Els components accesoris són: clorita, moscovita, epidota, zircó i apatita. Els leucogranits mostren textura porfírica microcristal·lina o holocristal·lina. Els fenocristalls són idiomòrfics i la seva composició és: plagiòclasi alterada a sericita o saussurita, quars i feldspat potàssic. La matriu té la mateixa composició però amb escassa presència de màfics. L'orientació preferent dels dics és SW-NE. Edat: Carbonífer-Permià.

fdp: Dics de diorita porfírica. Carbonífer- Permià.

fdq: Filons de pòrfirs diorítics a quarsdiorítics. Aquest grup inclou pòrfirs quars-monzonítics, diorítics i quarsdiorítics. Els quars-monzodiorítics presenten textura holocristal·lina heterogranular. Els minerals fonamentals són: quars, plagioclasi, feldspat potàssic i biotita. Els components accessoris són: apatita, zircó, esfèn, epidota i altres opacs. Els diorítics presenten textura holocristal·lina heterogranular porfírica o bé hipidiomorfa granular amb tendència a porfírica. El mineral fonamental és la plagiòclasi formant fenocristalls inclosos en una matriu també de plagiòclasi i d'amfíbols. Els components accessoris són: apatita, sericita, epidota, biotita i clorita. Els quarsdiorítics presenten textura holocristal·lina, heterogranular porfírica. El mineral fonamental és la plagiòclasi. Els components accessoris són: apatita, epidota, hematites i magnetita. Edat: Carbonífer- Permià.

Ggdbh: Granodiorita biotítico-hornblèndica. Son roques relativament homogènies de gra mig. Presenten microestructura granular, holocristal·lina i

de gra mig. Constituïdes per quars, plagiòclasi, feldspat potàssic, biotita i hornblenda. Els minerals accessoris més importants són: apatit, zircó, allanita i minerals opacs. Inclou abundants enclavaments de gra fi de composició quarsidiorítica. També hi són freqüents les intrusions de leucogranits (G11). Formen petits stocks o batòlits que donen lloc a aureoles de metamorfisme de contacte d'espessor hectomètrica. Constitueixen les "granodiorites de Roses-Rodes" i les "granodiorites del batòlit de Sant Llorenç-La Jonquera". Edat: Carbonífer-Permià.

gp: Granits porfírics. Presenten textura granular hipidiomòrfica de gra mitjà o fi. Ocasionalment el gra és groller i la textura al·lotriomòrfica. Els minerals essencials són: feldspat potàssic, quars, plagiòclasi i biotita. Els grans de feldspat potàssic i de quars solen presentar forma al·lotriomòrfica, mentre que les plagiòclasi generalment són hipidiomòrfiques, maclades i zonades. Els principals minerals accessoris són: opacs, zircó, moscovita, clorita, esfèn i apatita. Edat: Carbonífer- Permià.

mc_Dcn1: Pòrfirs granodiorítics o quarsmonzonítics, corneanes, marbres i skarns. Les corneanes es troben constituïdes fonamentalment per andalusita, cordierita, feldspat potàssic i biotita. En les roques de composició calcària es pot trobar idocrasa, wol·lastonita i diòpsid. Corresponen als materials de la unitat Dcn1 afectats per metamorfisme de contacte. Edat del metamorfisme: Permocarbonífer.

::::::::::CARBONÍFERO

crgl: Gresos, lutites i algunes turbidites. *Carbonífero Superior*

::::::::::PÉRMICO-CARBONÍFERO

GaDs: Roques heterogènies, de composició variable entre quarzgarbre amfibòlic, quarzdiorites i tonalites de gra fi amb amfíbol i biotita, que poden contenir quantitats accessòries de piroxens. Edat: Permocarbonífer.

Gdb: Granodiorites biotítiques, de color gris i gra mig. Estan formades per plagiòclasi, feldspat potàssic, quarz i biotita, amb petites quantitats d'apatit, zircó, allanita, turmalina i minerals opacs. Edat: Permocarbonífer.

Gdba: Granodiorites biotítiques amb amfibols, de gra fi. Estan formades per quarz, plagiòclasi, feldspat potàssic, biotita i amfibols, i quantitats accessòries de turmalina, zircó, apatit, allanita, clinopiroxè i minerals opacs. Edat: Permocarbonífer.

Ggc: Granit porfiroide amb moscovita, biotita, cordierita i megacristalls de feldspat alcalí. La mida de gra és mitjana. Els megacristalls de feldspat alcalí solen estar maclats segons Carlsbad. Conté cristalls de turmalina negra. També hi són freqüents els enclavaments d'esquistos cristal·lins i els l·lencions rics en mica. Edat: Permocarbonífer.

mc_orva: Cornianes, esquists i filites pigallades.

mc_sdc: Materials de la unitat SDc afectats pel metamorfisme de contacte. Al full de Sant Feliu de Guíxols aquesta unitat està constituïda per la suma de les unitats SDc i la base de la unitat Capl, no ha estat possible la seva diferenciació per efecte de la tectonització i intensitat del metamorfisme de contacte. La base està formada per marbres blavosos i roques calcosilicatades en bancs de potència mètrica amb intercalacions de pissarres pigallades amb quiastolita. Les roques calcosilicatades contenen epidota i tremolita com a minerals principals i esfèn i clinozoisita com accessoris. El tram de sostre està format per

una sèrie de pissarres, lidites, esquistos calcosilicatats i nivellets de marbres.

Edat del metamorfisme de contacte. Edat: Carbonífer-Permià.

mc_çorgl: Gresos i lutites. Materials de la unitat ÇOrgl afectats per metamorfisme de contacte. Edat del metamorfisme: Carbonífer-Permià.

mr_Dcma: Materials de la unitat Dcma afectats per metamorfisme regional. Permocarbonífer.

mr_Dcr: Materials de la unitat Dcr afectats per metamorfisme regional. Permocarbonífer.

mr_Dgpa: Materials de la unitat Dgpa afectats per metamorfisme regional. Permocarbonífer.

mr_Dp1: Materials de la unitat Dp1 afectats per metamorfisme regional. Permocarbonífer.

mr_Dpf: Materials de la unitat Dpf afectats per metamorfisme regional. Permocarbonífer.

.....TRIÁSICO

Tkcgv: Conglomerats volcànics, dipòsits de lahar. Carnià-Norià. *Triásico*

.....PLEISTOCENO

qr: Graves, sorres, llims i localment blocs, que formen els dipòsits de les lleres actuals de les rieres i dels torrents. Inclou els possibles dipòsits de vessant no cartografiats amb els quals s'indenten lateralment. No es coneix la potència mitja de la unitat. És equivalent a la Qt0-1, però té menys entitat. S'atribueix a l'Holocè. A la zona de Portbou s'han inclòs en aquesta unitat cartogràfica dipòsits de poca entitat cartogràfica més antics atribuïbles al Plistocè i formats per grans blocs, graves, sorres i llims.

qepb: Dipòsits de tarteres. Blocs, clasts angulosos i llims. Plistocè

qga: Argiles ocres i vermelloses que engloben nivells de còdols subarrodonits-arrodonits discontinus. Hi ha petits nivells de calcaris intercalats. Tenen una gran extensió i una pendent molt suau. S'interpreten com a glacis d'acumulació; els nivells de carbonats s'interpreten com a crostes. Edat: Plistocè.

Qlg: Llims i sorres. Dipòsits glacio-lacustres. Plistocè.

qgmd: Restes de morrenes antigues degradades. Dipòsits caòtics i heteromètrics d'argiles, llims, sorres, clastes i blocs. Els blocs i clastes en general presenten un important grau d'alteració. Edat: Pleistocè.

qgo: Dipòsits d'obturbació glacial. Són dipòsits litològicament semblants als morènics (argiles, llims, sorres i blocs) però amb disposició estratiforme i certa classificació. Ambient deposicional glacio-lacustre. Edat: Plistocè.

Qgt: Blocs i sorres. Dipòsit glaciari o till. Plistocè.

Qpm: Blocs, amb sorres i llims. Dipòsits de morrenes. Plistocè.

Qtm: Blocs de mida mètrica i clastes angulosos de granit, esquistos, pissarres, quarsites i, ocasionalment, calcàries, amb poca matriu llimosa i sorrenca. Corresponen a morrenes de fons i cordons morrènics frontals i laterals, desenvolupats durant l'última glaciació pirenenca. Edat: Plistocè superior.

qgm: Restes de morrenes. Dipòsits caòtics i heteromètrics d'argiles, llims, sorres, clastes i blocs. Localment formen relleus positius (cordons) alineats, i es preserven en la posició d'acumulació original. La posició i característiques permet deduir localment si són morrenes frontals, laterals o de fons de vall. Edat: Pleistocè-Holocè antic.

.....HOLOCENO

qgr: Dipòsits glacials i periglacials, formats per glaceres rocalloses. Clastes i blocs angulosos, amb poca matriu. Solen estar associats a altres dipòsits

periglacials. Aquests dipòsits destaquen al vessant sud del Puigmal. Edat: Pleistocè-Holocè antic.

q: Agrupa els sediments quaternaris recents dipositats al fons de valls, rieres i dipòsits de peu de mont, tots ells de poca potència o entitat cartogràfica. La composició litològica depèn de l'àrea font i en general consisteix en còdols més o menys rodats o angulosos en una matriu més o menys abundant de lutites. S'atribueixen a l'Holocè.

qco: Còdols angulosos heteromètrics amb matriu llimosa- argilosa. La composició dels còdols és poligènica i correspon a la del substrat sobre el qual descansen. Són dipòsits col·luvials. Edat: Holocè.

QII: Blocs de litologia variada, sorres i llims. Dipòsits de lliscament mixtes. Holocè.

qac: Graves amb matriu sorrenca i argilosa. Agrupa els materials de peu de mont (derrubis de pendent i fàcies proximals de ventalls al·luvials) recolzats als relleus principals i que formen acumulacions importants. La seva composició litològica depèn de la del relleu associat. En general consisteixen en fragments angulosos inclosos en una matriu d'argiles, generalment vermelles. Corresponen a dipòsits de tipus mixte: col·luvials i al·luvials. Edat atribuïda: Holocè recent.

qt0-1: Graves, sorres i lutites. Representa els sediments més moderns: llera actual, plana d'inundació ordinària i terrassa més baixa, entre 0 i 2 metres per damunt del nivell del riu. En general aquests dipòsits s'organitzen en seqüències granodecreixents, amb graves a la base i sediments cada cop més fins cap al sostre. Equival lateralment a Qpa (plana al·luvial i deltaica actual) i a part de Qr (dipòsits de les lleres de les rieres actuals). Edat: Holocè recent.

qv0-1: Cons de dejecció relacionats amb la terrassa 0-1 (Qt0-1). Graves anguloses, sorres i llims. Edat: Holocè.

Qve: Blocs, graves anguloses i argiles. Els blocs poden arribar a 3 - 4 m de tamany. Les graves són heteromètriques i anguloses, de litologia procedent del substrat. El dipòsit presenta una potència d'entre 2 i 3 m. S'interpreten com dipòsits de vessant d'esbaldregalls. Edat: Holocè.

qt0: Graves, sorres, còdols i llims amb un baix percentatge de matriu. Els dipòsits presenten morfologies lenticulars, sovint bombades i disposades als marges del riu o bé formant petites illes al llit del riu. Presenten base erosiva i són discordants respecte de la resta de dipòsits quaternaris. Són les barres actuals i més recents del riu i constitueixen la seva terrassa més moderna. Edat: Holocè recent i actual.

.....

Anexo 14. Inventario de movimientos en masa de Barruera-Vielha (DS: Deslizamiento Superficial, CD: Corriente de Derrubios)

Id	TIPO_MM	X_UTM	Y_UTM	Area2d (m ²)	Area3d (m ²)	Diferencia Área (%)
1	DS	322471	4732322	416,5	633,1	34,2
2	DS	321955	4732641	2172,0	2930,4	25,9
3	CD	323214	4732663	1619,8	2309,5	29,9
4	DS	324087	4732336	743,1	903,7	17,8
5	CD	328352	4731758	193,4	296,1	34,7
6	DS	329969	4733070	519,0	676,5	23,3
7	CD	330557	4733126	326,0	436,9	25,4
8	CD	330634	4733142	224,1	348,0	35,6
9	CD	330667	4733151	343,1	465,0	26,2
10	CD	330733	4733119	530,7	741,3	28,4
11	CD	330741	4733102	207,9	289,2	28,1
12	CD	330797	4733073	437,2	594,3	26,4
13	CD	330852	4733079	418,8	579,4	27,7
14	DS	330824	4733062	192,3	248,5	22,6
15	CD	330899	4733065	4252,5	5935,1	28,4
16	DS	330122	4733515	3619,6	4584,7	21,1
17	DS	330213	4733559	2062,1	2729,8	24,5
18	DS	330283	4733595	294,2	370,3	20,6
19	DS	329963	4733653	418,2	544,7	23,2
20	DS	327025	4727346	1290,4	1729,0	25,4
21	DS	326970	4727341	1815,8	2295,2	20,9
22	CD	327942	4725156	13992,1	14467,0	3,3
23	CD	333100	4726710	2727,1	3277,9	16,8
24	DS	332563	4727731	3251,7	4146,1	21,6
25	CD	324951	4723414	1615,4	3086,8	47,7
26	CD	325016	4723491	1295,2	2028,9	36,2
27	CD	325168	4723449	698,2	1072,1	34,9
28	CD	329505	4723029	2507,4	3373,8	25,7
29	CD	329387	4722220	3148,4	3795,0	17,0
30	CD	329710	4721746	2407,4	2896,6	16,9
31	CD	330310	4721796	1220,5	1398,4	12,7
32	CD	324308	4716418	12263,6	16032,7	23,5
33	CD	324200	4716054	1415,1	1971,5	28,2
34	CD	323986	4715198	2672,6	3565,2	25,0
35	CD	324033	4714845	658,9	875,3	24,7
36	CD	323852	4714435	588,5	796,5	26,1
37	CD	322943	4716729	2837,4	3505,8	19,1
38	CD	322854	4715626	253,5	341,8	25,8
39	CD	323017	4716032	997,9	1335,4	25,3
40	DS	321754	4713667	469,2	608,2	22,9
41	CD	321451	4713829	8034,0	10036,8	20,0
42	DS	320388	4715273	1142,5	1484,8	23,1
43	DS	321020	4715187	1189,8	1438,8	17,3
44	CD	322471	4714601	9747,1	14629,6	33,4
45	DS	322044	4714785	2627,5	2998,1	12,4
46	CD	321814	4714994	1383,0	1595,6	13,3

47	DS	316470	4714377	3183,5	4028,3	21,0
48	CD	316441	4715955	4355,6	5832,0	25,3
49	CD	316871	4716489	7270,2	9863,1	26,3
50	DS	317223	4716462	3812,7	5121,1	25,5
51	CD	317166	4717153	1840,6	2461,3	25,2
52	CD	318711	4718088	5923,4	7517,6	21,2
53	CD	318289	4717925	1714,4	2274,1	24,6
54	CD	318339	4717988	3041,7	4150,3	26,7
55	CD	318288	4718139	4351,3	5786,5	24,8
56	CD	315585	4717984	4670,8	5964,5	21,7
57	CD	315334	4717996	2826,5	3527,5	19,9
58	CD	315270	4717845	2722,9	3292,1	17,3
59	CD	315349	4717745	1756,3	2248,1	21,9
60	CD	315397	4716902	16019,6	21049,0	23,9
61	CD	315633	4716635	1476,7	1957,6	24,6
62	CD	315046	4715092	4680,1	5685,5	17,7
63	CD	314887	4715177	2326,5	2707,3	14,1
64	DS	314904	4715109	1520,2	1769,2	14,1
65	CD	320864	4711123	1811,0	2370,6	23,6
66	CD	320871	4711088	2109,2	2815,4	25,1
67	CD	320887	4711053	361,5	433,9	16,7
68	DS	320703	4710733	2320,1	2808,5	17,4
69	DS	320705	4711252	1121,1	1441,4	22,2
70	DS	315768	4710851	496,1	557,7	11,0
71	CD	315506	4710866	2895,9	3305,6	12,4
72	DS	315673	4711328	1969,8	2133,8	7,7
73	CD	315560	4712605	2131,9	2628,3	18,9
74	DS	315549	4712747	657,9	806,1	18,4
75	CD	315733	4713127	20439,1	24670,9	17,2
76	CD	315832	4713102	3045,3	3938,3	22,7
77	CD	315754	4713714	8364,1	9957,5	16,0
78	CD	322362	4732468	2255,0	2826,0	20,2
79	CD	325017	4732580	1380,4	1889,6	26,9
80	CD	324579	4732167	251,2	311,9	19,5
81	DS	324565	4732189	883,9	973,2	9,2
82	DS	326498	4732622	724,7	771,9	6,1
83	CD	325075	4728527	1835,5	2672,3	31,3
84	DS	326875	4727541	1292,6	1829,1	29,3
85	DS	326348	4727976	3380,5	4226,4	20,0
86	DS	334026	4726411	3877,1	4761,6	18,6
87	CD	331605	4724854	1951,8	2536,0	23,0
88	CD	331558	4724870	753,4	989,0	23,8
89	CD	331599	4724545	1117,0	1784,9	37,4
90	CD	324281	4725052	3672,5	4899,8	25,0
91	CD	324473	4725673	7663,6	13049,2	41,3
92	CD	317496	4726012	663,9	762,9	13,0
93	CD	316358	4714684	1281,1	1379,2	7,1
94	CD	316912	4714106	1420,1	2173,4	34,7
95	CD	317079	4714331	13999,1	19872,8	29,6
96	CD	316758	4714101	3727,1	4838,0	23,0
97	CD	317290	4714132	2888,4	3879,3	25,5
98	CD	317653	4715836	21498,5	26234,5	18,1

99	CD	317515	4716959	3679,8	4029,3	8,7
100	CD	317431	4717671	4695,7	6374,3	26,3
101	CD	317402	4717734	811,6	1017,2	20,2
102	CD	317812	4718153	6293,3	7631,0	17,5
103	DS	315768	4716771	1018,2	1270,5	19,9
104	CD	315986	4713144	10051,2	12762,7	21,2
105	DS	320695	4711435	3802,7	4541,2	16,3

Anexo 15. Distribuciones teóricas para el campo de precipitación promedio por km² del área Barruera-Vielha

#	Distribución	Parámetros
1	Beta	$\alpha_1=0,4126$ $\alpha_2=2,0152$ $a=248,5$ $b=26235,0$
2	Burr	$k=1,2508$ $\alpha=1,5083$ $\beta=2884,6$
3	Burr (4P)	$k=0,01047$ $\alpha=4149,9$ $\beta=1374,3$ $\gamma=-1537,4$
4	Cauchy	$\sigma=1345,2$ $\mu=2157,8$
5	Chi-Squared	$v=4036$
6	Chi-Squared (2P)	$v=4904$ $\gamma=248,5$
7	Dagum	$k=359,14$ $\alpha=2,7411$ $\beta=80,866$
8	Dagum (4P)	$k=3,1682$ $\alpha=0,24152$ $\beta=0,45306$ $\gamma=248,5$
9	Error	$k=1,0$ $\sigma=5003,1$ $\mu=4036,1$
10	Error Function	$h=1,4133E-4$
11	Exponential	$\lambda=2,4776E-4$
12	Exponential (2P)	$\lambda=2,6402E-4$ $\gamma=248,5$
13	Fatigue Life	$\alpha=1,2176$ $\beta=2320,3$
14	Fatigue Life (3P)	$\alpha=1,2855$ $\beta=2169,4$ $\gamma=57,818$
15	Frechet	$\alpha=1,114$ $\beta=1360,0$
16	Frechet (3P)	$\alpha=1,5064$ $\beta=2264,5$ $\gamma=-684,86$
17	Gamma	$\alpha=0,6508$ $\beta=6201,8$

18	Gamma (3P)	$\alpha=0,70064$ $\beta=5675,6$ $\gamma=248,5$
19	Gen. Extreme Value	$k=0,42979$ $\sigma=1750,4$ $\mu=1748,4$
20	Gen. Gamma	$k=1,1397$ $\alpha=0,73325$ $\beta=6201,8$
21	Gen. Gamma (4P)	$k=0,74021$ $\alpha=1,2482$ $\beta=2250,2$ $\gamma=248,5$
22	Gen. Logistic	$k=0,47786$ $\sigma=1466,7$ $\mu=2486,4$
23	Gen. Pareto	$k=0,29339$ $\sigma=2661,8$ $\mu=269,15$
24	Gumbel Max	$\sigma=3900,9$ $\mu=1784,4$
25	Gumbel Min	$\sigma=3900,9$ $\mu=6287,7$
26	Hypersecant	$\sigma=5003,1$ $\mu=4036,1$
27	Inv. Gaussian	$\lambda=2626,7$ $\mu=4036,1$
28	Inv. Gaussian (3P)	$\lambda=2388,9$ $\mu=4120,5$ $\gamma=-84,395$
29	Johnson SB	$\gamma=1,7212$ $\delta=0,50101$ $\lambda=31468,0$ $\xi=934,55$
30	Kumaraswamy	$\alpha_1=0,45537$ $\alpha_2=1,7056$ $a=248,5$ $b=26567,0$
31	Laplace	$\lambda=2,8267E-4$ $\mu=4036,1$
32	Levy	$\sigma=1331,2$
33	Levy (2P)	$\sigma=1025,4$ $\gamma=118,88$
34	Log-Gamma	$\alpha=51,443$ $\beta=0,15049$
35	Log-Logistic	$\alpha=1,6075$ $\beta=2249,3$
36	Log-Logistic (3P)	$\alpha=1,3331$ $\beta=2010,2$ $\gamma=219,47$

37	Log-Pearson 3	$\alpha=11728,0$ $\beta=0,00997$ $\gamma=-109,15$
38	Logistic	$\sigma=2758,3$ $\mu=4036,1$
39	Lognormal	$\sigma=1,0742$ $\mu=7,7418$
40	Lognormal (3P)	$\sigma=1,1967$ $\mu=7,6276$ $\gamma=132,27$
41	Normal	$\sigma=5003,1$ $\mu=4036,1$
42	Pareto	$\alpha=0,44917$ $\beta=248,5$
43	Pareto 2	$\alpha=5,1296$ $\beta=16676,0$
44	Pearson 5	$\alpha=1,0478$ $\beta=1394,8$
45	Pearson 5 (3P)	$\alpha=1,6932$ $\beta=3657,5$ $\gamma=-450,95$
46	Pearson 6	$\alpha_1=2,073$ $\alpha_2=2,2235$ $\beta=2516,6$
47	Pearson 6 (4P)	$\alpha_1=11,574$ $\alpha_2=1,7465$ $\beta=321,28$ $\gamma=-329,45$
48	Pert	$m=273,35$ $a=248,5$ $b=26235,0$
49	Phased Bi-Exponential	$\lambda_1=2,9658E-4$ $\gamma_1=248$ $\lambda_2=4,1490E-4$ $\gamma_2=7383$
50	Phased Bi-Weibull	$\alpha_1=0,76021$ $\beta_1=490,9$ $\gamma_1=248$ $\alpha_2=0,71897$ $\beta_2=402,3$ $\gamma_2=15785,0$
51	Power Function	$\alpha=0,32654$ $a=248,5$ $b=26599,0$
52	Rayleigh	$\sigma=3220,3$
53	Rayleigh (2P)	$\sigma=6002,4$ $\gamma=-2838,9$
54	Reciprocal	$a=248,5$ $b=26235,0$
55	Rice	$v=1,0131$ $\sigma=4532,2$

56	Student's t	$\nu=2$
57	Triangular	$m=273,35$ $a=248,5$ $b=26235,0$
58	Uniform	$a=-4629,5$ $b=12702,0$
59	Wakeby	$\alpha=4786,4$ $\beta=11,745$ $\gamma=2486,2$ $\delta=0,32081$ $\xi=0$
60	Weibull	$\alpha=1,1164$ $\beta=3716,2$
61	Weibull (3P)	$\alpha=0,81942$ $\beta=3349,5$ $\gamma=248,5$

Anexo 16. Ranking de la bondad del ajuste para las distribuciones teóricas de los datos de movimientos en masa de Barruera-Vielha

#	<u>Distribución</u>	<u>Kolmogorov</u> <u>Smirnov</u>		<u>Anderson</u> <u>Darling</u>		<u>Chi-cuadrado</u>	
		Estadístico	Ranking	Estadístico	Ranking	Estadístico	Ranking
59	Wakeby	0,04814	1	0,48107	5	5,4837	11
46	Pearson 6	0,05215	2	0,44093	2	6,5648	14
2	Burr	0,05265	3	0,40057	1	3,912	5
39	Lognormal	0,05302	4	0,44838	3	6,6561	15
37	Log-Pearson 3	0,05429	5	0,44883	4	6,6776	16
19	Gen. Extreme Value	0,05438	6	0,52181	7	3,5153	4
23	Gen. Pareto	0,05578	7	4,388	30	N/A	
22	Gen. Logistic	0,06105	8	0,5798	8	2,4973	1
35	Log-Logistic	0,06169	9	0,49143	6	7,6446	19
21	Gen. Gamma (4P)	0,06483	10	4,4902	31	N/A	
36	Log-Logistic (3P)	0,06494	11	0,74943	17	6,3403	13
60	Weibull	0,06761	12	1,6373	22	2,7898	2
13	Fatigue Life	0,06768	13	0,5959	9	5,2648	9
45	Pearson 5 (3P)	0,06849	14	0,64915	13	9,1557	23
16	Frechet (3P)	0,0699	15	0,67492	15	9,8751	24
61	Weibull (3P)	0,07017	16	4,5768	32	N/A	
47	Pearson 6 (4P)	0,07034	17	0,65188	14	9,0287	22
34	Log-Gamma	0,0716	18	0,64568	12	6,2417	12

49	Phased Bi-Exponential	0,07278	19	1,997	24	3,4586	3
40	Lognormal (3P)	0,07379	20	0,62538	10	6,7161	17
28	Inv. Gaussian (3P)	0,07417	21	0,63654	11	4,9683	7
43	Pareto 2	0,07489	22	1,1141	18	5,4747	10
14	Fatigue Life (3P)	0,0765	23	0,68337	16	7,1	18
27	Inv. Gaussian	0,07949	24	1,437	20	10,942	26
18	Gamma (3P)	0,09688	25	1,2342	19	7,9599	21
12	Exponential (2P)	0,10223	26	3,9564	28	7,7694	20
11	Exponential	0,10332	27	1,6043	21	5,0924	8
44	Pearson 5	0,12568	28	1,9795	23	15,991	28
15	Frechet	0,12678	29	2,4662	25	16,315	29
20	Gen. Gamma	0,13795	30	2,646	26	10,941	25
17	Gamma	0,13882	31	3,4424	27	15,339	27
1	Beta	0,14762	32	6,1214	35	33,924	40
30	Kumaraswamy	0,16489	33	8,2814	38	N/A	
54	Reciprocal	0,17505	34	4,0177	29	27,733	35
33	Levy (2P)	0,1818	35	5,0882	34	34,736	41
29	Johnson SB	0,18718	36	81,916	55	N/A	
48	Pert	0,19003	37	10,09	40	21,567	31
4	Cauchy	0,19536	38	4,7762	33	4,5271	6
32	Levy	0,22052	39	6,9681	36	33,417	39
24	Gumbel Max	0,22707	40	7,0101	37	18,057	30

26	Hypersecant	0,23337	41	9,851	39	23,566	32
38	Logistic	0,23514	42	10,097	41	28,498	36
41	Normal	0,23721	43	11,035	44	33,185	38
9	Error	0,2385	44	10,237	42	25,725	33
31	Laplace	0,2385	45	10,237	43	25,725	34
51	Power Function	0,25002	46	13,143	46	N/A	
52	Rayleigh	0,25185	47	28,376	49	49,319	43
53	Rayleigh (2P)	0,25258	48	11,283	45	29,404	37
42	Pareto	0,25394	49	13,586	47	67,36	45
58	Uniform	0,28146	50	43,137	52	N/A	
25	Gumbel Min	0,30697	51	25,066	48	37,634	42
55	Rice	0,41008	52	54,986	54	118,69	47
8	Dagum (4P)	0,45294	53	37,181	51	N/A	
57	Triangular	0,4747	54	54,282	53	121,8	48
10	Error Function	0,51981	55	34,839	50	61,378	44
50	Phased Bi-Weibull	0,56348	56	135,09	57	265,27	49
7	Dagum	0,57916	57	129,03	56	109,71	46
5	Chi-Squared	0,68255	58	10870,0	59	270,74	50
6	Chi-Squared (2P)	0,7952	59	18757,0	60	370,3	51
56	Student's t	0,99999	60	1466,0	58	6,5518E+7	52
3	Burr (4P)	N/A		N/A		N/A	

Anexo 17. Distribuciones teóricas para el campo de densidad de roturas de Barruera-Vielha

#	Distribución	Parámetros
1	Beta	$\alpha_1=0,51691$ $\alpha_2=2,5986$ $a=1,0$ $b=28,56$
2	Burr	$k=0,78476$ $\alpha=2,1818$ $\beta=2,7454$
3	Burr (4P)	$k=3,7492$ $\alpha=0,84041$ $\beta=10,907$ $\gamma=1,0$
4	Cauchy	$\sigma=1,6556$ $\mu=2,6516$
5	Chi-Squared	$\nu=4$
6	Chi-Squared (2P)	$\nu=3$ $\gamma=0,69588$
7	Dagum	$k=161,59$ $\alpha=1,3789$ $\beta=0,02906$
8	Dagum (4P)	$k=0,29875$ $\alpha=1,8138$ $\beta=6,3055$ $\gamma=1,0$
9	Erlang	$m=1$ $\beta=3,6548$
10	Error	$k=1,0$ $\sigma=4,181$ $\mu=4,7829$
11	Error Function	$h=0,16913$
12	Exponential	$\lambda=0,20908$
13	Exponential (2P)	$\lambda=0,26435$ $\gamma=1,0$
14	Fatigue Life	$\alpha=0,88022$ $\beta=3,4592$
15	Fatigue Life (3P)	$\alpha=1,6323$ $\beta=1,5883$ $\gamma=0,90368$
16	Frechet	$\alpha=1,44$ $\beta=2,2614$
17	Frechet (3P)	$\alpha=1,1041$ $\beta=1,6478$ $\gamma=0,46407$

18	Gamma	$\alpha=1,3087$ $\beta=3,6548$
19	Gamma (3P)	$\alpha=0,63758$ $\beta=5,3121$ $\gamma=1,0$
20	Gen. Extreme Value	$k=0,26103$ $\sigma=2,2692$ $\mu=2,6933$
21	Gen. Gamma	$k=1,0551$ $\alpha=1,3824$ $\beta=3,6548$
22	Gen. Gamma (4P)	$k=1,0136$ $\alpha=0,63644$ $\beta=5,9334$ $\gamma=1,0$
23	Gen. Logistic	$k=0,34909$ $\sigma=1,735$ $\mu=3,6266$
24	Gen. Pareto	$k=0,03503$ $\sigma=4,0552$ $\mu=0,58057$
25	Gumbel Max	$\sigma=3,2599$ $\mu=2,9013$
26	Gumbel Min	$\sigma=3,2599$ $\mu=6,6646$
27	Hypersecant	$\sigma=4,181$ $\mu=4,7829$
28	Inv. Gaussian	$\lambda=6,2593$ $\mu=4,7829$
29	Inv. Gaussian (3P)	$\lambda=1,881$ $\mu=4,1043$ $\gamma=0,67859$
30	Johnson SB	$\gamma=1,9735$ $\delta=0,94314$ $\lambda=32,829$ $\xi=-0,10566$
31	Kumaraswamy	$\alpha_1=0,50855$ $\alpha_2=1,4963$ $a=1,0$ $b=26,972$
32	Laplace	$\lambda=0,33825$ $\mu=4,7829$
33	Levy	$\sigma=2,4848$
34	Levy (2P)	$\sigma=0,79725$ $\gamma=0,87743$
35	Log-Gamma	$\alpha=2,1362$ $\beta=0,57139$
36	Log-Logistic	$\alpha=2,0341$ $\beta=3,3489$

37	Log-Logistic (3P)	$\alpha=0,94135$ $\beta=1,6811$ $\gamma=1,0$
38	Log-Pearson 3	$\alpha=95,783$ $\beta=0,08533$ $\gamma=-6,9526$
39	Logistic	$\sigma=2,3051$ $\mu=4,7829$
40	Lognormal	$\sigma=0,83257$ $\mu=1,2206$
41	Lognormal (3P)	$\sigma=1,4906$ $\mu=0,55123$ $\gamma=0,95186$
42	Normal	$\sigma=4,181$ $\mu=4,7829$
43	Pareto	$\alpha=0,81928$ $\beta=1$
44	Pareto 2	$\alpha=147,71$ $\beta=697,96$
45	Pearson 5	$\alpha=1,7592$ $\beta=4,3713$
46	Pearson 5 (3P)	$\alpha=1,3451$ $\beta=2,546$ $\gamma=0,36401$
47	Pearson 6	$\alpha_1=43,149$ $\alpha_2=1,8277$ $\beta=0,10721$
48	Pearson 6 (4P)	$\alpha_1=0,63086$ $\alpha_2=1,3169$ $\beta=4,3966$ $\gamma=1,0$
49	Pert	$m=1,0$ $a=1,0$ $b=27,416$
50	Phased Bi-Exponential	$\lambda_1=0,26135$ $\gamma_1=1$ $\lambda_2=0,6902$ $\gamma_2=4,1$
51	Phased Bi-Weibull	$\alpha_1=1,1162$ $\beta_1=1,0135$ $\gamma_1=1$ $\alpha_2=0,63056$ $\beta_2=3,5368$ $\gamma_2=0,2$
52	Power Function	$\alpha=0,33604$ $a=1,0$ $b=24,075$
53	Rayleigh	$\sigma=3,8162$
54	Rayleigh (2P)	$\sigma=5,3362$ $\gamma=-1,508$
55	Reciprocal	$a=1,0$ $b=23,8$

56	Rice	$\nu=8,0561\text{E-}4$ $\sigma=4,4861$
57	Student's t	$\nu=2$
58	Triangular	$m=0,99999$ $a=0,99999$ $b=23,992$
59	Uniform	$a=-2,4587$ $b=12,025$
60	Wakeby	$\alpha=-6,3014$ $\beta=2,9179$ $\gamma=6,3023$ $\delta=-0,17511$ $\xi=1,0282$
61	Weibull	$\alpha=1,3893$ $\beta=5,0309$
62	Weibull (3P)	$\alpha=0,73475$ $\beta=3,2936$ $\gamma=1,0$
63	Erlang (3P)	No hay ajuste
64	Johnson SU	No hay ajuste
65	Nakagami	No hay ajuste

Anexo 18. Ranking de la bondad del ajuste para las distribuciones teóricas del campo de densidad de roturas datos de movimientos en masa de Barruera-Vielha

#	<u>Distribución</u>	<u>Kolmogorov</u> <u>Smirnov</u>		<u>Anderson</u> <u>Darling</u>		<u>Chi-cuadrado</u>	
		Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
24	Gen. Pareto	0,09435	1	0,51616	1	1,7414	3
59	Wakeby	0,09533	2	21,575	48	N/A	
50	Phased Bi-Weibull	0,10526	3	9,315	37	N/A	
37	Log-Pearson 3	0,10903	4	0,66891	2	4,3928	10
15	Fatigue Life (3P)	0,11297	5	0,75165	4	6,5208	20
16	Frechet	0,11448	6	0,91516	10	5,1689	15
20	Gen. Extreme Value	0,11852	7	0,83286	5	4,5604	12
23	Gen. Logistic	0,11897	8	0,90581	9	4,2362	9
40	Lognormal (3P)	0,12236	9	0,86551	8	4,6955	14
22	Gen. Gamma (4P)	0,12393	10	21,869	49	N/A	
34	Log-Gamma	0,12531	11	9,0269	36	3,3439	8
29	Inv. Gaussian (3P)	0,12558	12	0,73675	3	7,2541	22
42	Pareto	0,12772	13	8,9553	35	0,68189	1
3	Burr (4P)	0,12997	14	10,79	38	14,316	37
46	Pearson 6	0,13057	15	1,2267	11	2,0313	4
44	Pearson 5	0,13329	16	1,2471	12	2,1427	5
17	Frechet (3P)	0,1347	17	0,84312	6	3,2284	6
45	Pearson 5 (3P)	0,13616	18	0,84753	7	3,3256	7

35	Log-Logistic	0,1369	19	1,4856	13	7,5679	23
19	Gamma (3P)	0,14197	20	22,445	50	N/A	
39	Lognormal	0,15224	21	1,6098	14	4,4458	11
6	Chi-Squared (2P)	0,16984	22	22,985	51	N/A	
14	Fatigue Life	0,17257	23	2,1129	15	4,6478	13
33	Levy (2P)	0,17497	24	2,2952	16	27,068	41
61	Weibull (3P)	0,17739	25	6,4072	29	5,9697	18
60	Weibull	0,18233	26	4,6466	19	6,5747	21
13	Exponential (2P)	0,18857	27	20,628	47	11,737	36
2	Burr	0,18909	28	13,639	44	N/A	
47	Pearson 6 (4P)	0,19286	29	23,812	53	N/A	
36	Log-Logistic (3P)	0,19842	30	23,551	52	N/A	
21	Gen. Gamma	0,20011	31	3,9926	17	9,2456	27
8	Dagum (4P)	0,20203	32	11,188	41	5,2988	17
10	Error	0,22053	33	5,319	21	11,285	34
31	Laplace	0,22053	34	5,319	20	11,285	35
52	Rayleigh	0,22286	35	5,5387	23	8,8439	25
27	Hypersecant	0,24315	36	5,6107	24	10,351	31
53	Rayleigh (2P)	0,25057	37	6,7486	31	17,639	39
38	Logistic	0,2586	38	5,9757	27	10,969	32
4	Cauchy	0,25996	39	5,8594	25	6,4635	19
41	Normal	0,28073	40	6,8047	32	9,6716	30

7	Dagum	0,28241	41	10,917	40	22,895	40
26	Gumbel Min	0,28574	42	11,898	43	N/A	
30	Kumaraswamy	0,29141	43	26,974	55	N/A	
1	Beta	0,29399	44	26,61	54	N/A	
28	Inv. Gaussian	0,29508	45	4,3494	18	1,0902	2
25	Gumbel Max	0,30655	46	5,4238	22	5,1821	16
49	Phased Bi-Exponential	0,30961	47	19,33	46	15,316	38
55	Rice	0,3172	48	10,901	39	29,614	42
58	Uniform	0,33237	49	11,811	42	N/A	
18	Gamma	0,34157	50	5,9197	26	9,2142	26
43	Pareto 2	0,35194	51	6,3461	28	9,4495	28
12	Exponential	0,35519	52	6,4086	30	9,5164	29
9	Erlang	0,37487	53	6,9802	33	11,105	33
48	Pert	0,38941	54	31,89	57	63,667	46
5	Chi-Squared	0,39347	55	7,739	34	8,2584	24
51	Power Function	0,40208	56	31,487	56	N/A	
32	Levy	0,41469	57	15,074	45	44,243	44
54	Reciprocal	0,46792	58	35,299	58	56,088	45
57	Triangular	0,62306	59	61,565	61	131,46	48
11	Error Function	0,6751	60	35,362	59	36,612	43
56	Student's t	0,78868	61	58,679	60	104,55	47
62	Erlang (3P)	No hay ajuste					

63	Johnson SB	No hay ajuste
64	Johnson SU	No hay ajuste
65	Nakagami	No hay ajuste

Anexo 19. Número de roturas por sustrato rocoso – Barruera-Vielha

EPIGRAFE	# MM	Sum_Area2d	Sum_Area3d
ÇOrgl	1	361,5	433,9
Crgl	0	0,0	0,0
Db	9	9170,0	11704,7
DCacb	0	0,0	0,0
Dcm	1	1476,7	1957,6
Dcma	2	738,6	1030,5
Dcn1	5	8760,5	10708,8
Dcn2	0	0,0	0,0
Dcnq	1	2895,9	3305,6
Dcr	0	0,0	0,0
Dgpa	0	0,0	0,0
Dp1	0	0,0	0,0
Dp1q	0	0,0	0,0
Dpcg	0	0,0	0,0
Dpf	4	5300,8	7357,3
Fap	0	0,0	0,0
Fdp	0	0,0	0,0
Fdq	0	0,0	0,0
Fgd	0	0,0	0,0
Fq	0	0,0	0,0
GaDs	1	1835,5	2672,3
Gdb	3	4398,8	5853,2
Gdba	1	193,4	296,1

Ggc	4	11976,5	15032,2
Ggdbh	19	44243,6	58033,5
Gp	2	2705,2	3524,9
Gtb	0	0,0	0,0
mc_ÇOrgl	1	2727,1	3277,9
mc_Crgl	0	0,0	0,0
mc_Db	0	0,0	0,0
mc_DCacb	0	0,0	0,0
mc_Dcm	2	22516,7	27505,0
mc_Dcma	0	0,0	0,0
mc_Dcn1	0	0,0	0,0
mc_Dcr	0	0,0	0,0
mc_Dpf	0	0,0	0,0
mc_Opa	0	0,0	0,0
mc_Orva	0	0,0	0,0
mc_SDc1	0	0,0	0,0
mc_SDcpl	0	0,0	0,0
mc_SDpc	0	0,0	0,0
mc_Sl	2	23289,8	30912,1
mr_Dcma	0	0,0	0,0
mr_Dcr	0	0,0	0,0
mr_Dgpa	0	0,0	0,0
mr_Dp1	0	0,0	0,0
mr_Dpf	0	0,0	0,0
Opa	0	0,0	0,0

Orbc	0	0,0	0,0
Orgm	0	0,0	0,0
Orst	0	0,0	0,0
Orva	0	0,0	0,0
Prd	0	0,0	0,0
PTbc	0	0,0	0,0
Q	0	0,0	0,0
Qa	0	0,0	0,0
Qac	0	0,0	0,0
Qco	8	10843,6	13917,5
Qepb	4	8706,9	11543,7
Qga	0	0,0	0,0
Qgm	10	67781,7	86884,2
Qgmd	0	0,0	0,0
Qgo	0	0,0	0,0
Qgr	0	0,0	0,0
Qgt	5	12247,9	15001,5
Qgtg	0	0,0	0,0
Qlg	0	0,0	0,0
Qll	2	16499,5	17840,9
Qpm	1	8034,0	10036,8
Qr	0	0,0	0,0
Qt0	2	4923,8	5982,6
Qt0-1	0	0,0	0,0
Qtm	0	0,0	0,0

Qv0-1	2	17410,7	27678,8
Qve	7	23963,7	31188,8
SDc1	1	3877,1	4761,6
SDpc	0	0,0	0,0
SI	2	3920,2	5186,0
Tkx	3	8526,9	10162,0

**Anexo 20. Base de datos mapa digital de precipitación
Barruera-Vielha**

Id	X_UTM_mE	Y_UTM_mN	MÍNIMO (mm)	MÁXIMO (mm)	PROMEDIO/Km ² (mm)
1	314500	4710500	100,1	124,0	123,9
2	315500	4710500	121,5	137,1	122,0
3	316500	4710500	119,9	126,1	121,1
4	317500	4710500	124,3	138,1	125,0
5	318500	4710500	115,7	125,2	124,8
6	319500	4710500	119,4	125,2	124,7
7	320500	4710500	119,9	128,4	121,3
8	321500	4710500	101,3	122,5	121,1
9	322500	4710500	114,7	124,5	122,9
10	323500	4710500	111,3	125,2	124,1
11	324500	4710500	115,3	125,2	121,4
12	325500	4710500	116,3	126,8	118,0
13	326500	4710500	69,6	118,1	117,6
14	327500	4710500	94,6	119,6	118,2
15	328500	4710500	118,7	129,2	119,7
16	329500	4710500	119,3	129,6	125,7
17	330500	4710500	125,1	129,6	128,3
18	331500	4710500	125,1	133,4	125,7
19	332500	4710500	104,0	126,1	125,3
20	333500	4710500	109,5	125,7	125,6
21	334500	4710500	123,0	126,7	126,2
22	314500	4711500	103,7	124,0	123,3

23	315500	4711500	120,5	131,6	122,6
24	316500	4711500	106,6	127,5	123,5
25	317500	4711500	122,9	126,1	124,7
26	318500	4711500	110,7	126,8	124,3
27	319500	4711500	123,6	128,1	125,6
28	320500	4711500	98,1	127,9	123,0
29	321500	4711500	120,2	127,6	122,2
30	322500	4711500	121,1	128,8	123,7
31	323500	4711500	123,6	128,0	125,2
32	324500	4711500	120,2	137,0	124,3
33	325500	4711500	117,7	126,4	120,7
34	326500	4711500	117,8	136,5	118,7
35	327500	4711500	106,5	125,8	119,1
36	328500	4711500	118,7	130,1	123,8
37	329500	4711500	122,5	130,6	127,5
38	330500	4711500	127,7	132,7	130,0
39	331500	4711500	125,1	132,7	128,7
40	332500	4711500	125,0	139,6	127,4
41	333500	4711500	125,5	128,7	126,6
42	334500	4711500	126,1	128,4	127,5
43	314500	4712500	121,3	135,3	122,2
44	315500	4712500	121,9	131,9	123,2
45	316500	4712500	117,8	127,2	123,7
46	317500	4712500	109,6	131,9	125,0
47	318500	4712500	124,0	167,5	129,1

48	319500	4712500	124,5	134,0	127,4
49	320500	4712500	122,8	132,5	126,2
50	321500	4712500	121,7	130,8	123,9
51	322500	4712500	123,1	128,5	126,3
52	323500	4712500	124,5	143,2	126,8
53	324500	4712500	124,2	130,2	126,2
54	325500	4712500	121,2	128,9	126,1
55	326500	4712500	118,0	128,8	122,3
56	327500	4712500	118,3	130,8	126,0
57	328500	4712500	124,6	132,4	129,0
58	329500	4712500	128,5	144,2	130,8
59	330500	4712500	126,6	134,9	130,5
60	331500	4712500	127,3	135,8	132,4
61	332500	4712500	122,1	135,9	132,2
62	333500	4712500	125,6	137,0	131,7
63	334500	4712500	123,8	131,9	129,9
64	314500	4713500	121,5	136,7	124,1
65	315500	4713500	120,2	126,2	123,2
66	316500	4713500	116,9	133,1	121,1
67	317500	4713500	117,9	131,9	129,1
68	318500	4713500	122,4	135,4	132,8
69	319500	4713500	127,6	140,6	134,8
70	320500	4713500	122,4	135,7	127,0
71	321500	4713500	115,8	128,4	125,9
72	322500	4713500	124,0	131,2	125,7

73	323500	4713500	123,7	127,4	125,4
74	324500	4713500	106,1	128,7	125,5
75	325500	4713500	119,9	127,6	123,0
76	326500	4713500	121,1	136,4	124,8
77	327500	4713500	121,8	132,5	128,2
78	328500	4713500	128,4	142,3	132,8
79	329500	4713500	127,6	133,6	130,1
80	330500	4713500	124,9	133,8	128,2
81	331500	4713500	125,0	147,1	127,6
82	332500	4713500	129,0	153,4	132,1
83	333500	4713500	126,3	138,2	130,2
84	334500	4713500	126,3	137,6	127,1
85	314500	4714500	110,8	128,4	127,9
86	315500	4714500	119,3	128,1	124,1
87	316500	4714500	109,0	129,8	122,2
88	317500	4714500	99,6	131,6	128,7
89	318500	4714500	127,9	212,2	131,2
90	319500	4714500	114,9	140,6	134,5
91	320500	4714500	121,5	136,1	128,9
92	321500	4714500	111,8	128,2	125,1
93	322500	4714500	113,3	128,2	124,2
94	323500	4714500	119,8	130,6	123,0
95	324500	4714500	117,4	124,0	120,3
96	325500	4714500	116,2	132,8	118,5
97	326500	4714500	106,8	130,5	122,5

98	327500	4714500	120,8	133,3	131,4
99	328500	4714500	126,2	149,1	129,9
100	329500	4714500	126,2	133,0	129,5
101	330500	4714500	86,2	130,8	124,7
102	331500	4714500	106,1	129,0	126,2
103	332500	4714500	114,3	131,5	127,6
104	333500	4714500	122,8	157,4	125,8
105	334500	4714500	99,1	127,5	127,0
106	314500	4715500	126,7	141,7	127,5
107	315500	4715500	116,7	127,7	125,5
108	316500	4715500	119,8	131,3	124,5
109	317500	4715500	97,4	132,4	130,1
110	318500	4715500	128,8	155,7	132,6
111	319500	4715500	113,2	142,9	136,6
112	320500	4715500	118,5	147,5	125,1
113	321500	4715500	117,7	139,6	120,2
114	322500	4715500	118,9	136,1	121,9
115	323500	4715500	117,9	128,2	120,7
116	324500	4715500	98,2	123,8	120,8
117	325500	4715500	103,6	121,2	116,9
118	326500	4715500	114,8	128,7	120,6
119	327500	4715500	106,8	130,6	126,6
120	328500	4715500	125,4	192,5	128,2
121	329500	4715500	115,8	129,1	125,9
122	330500	4715500	115,0	127,5	122,3

123	331500	4715500	116,9	126,7	121,2
124	332500	4715500	121,5	131,5	125,8
125	333500	4715500	121,2	130,3	126,7
126	334500	4715500	85,9	130,2	128,9
127	314500	4716500	127,0	155,8	128,4
128	315500	4716500	127,0	132,1	128,7
129	316500	4716500	121,0	129,1	126,0
130	317500	4716500	124,6	145,5	128,7
131	318500	4716500	131,6	140,9	135,8
132	319500	4716500	119,7	142,0	135,0
133	320500	4716500	118,5	132,9	128,3
134	321500	4716500	94,9	130,1	122,9
135	322500	4716500	90,0	123,0	121,2
136	323500	4716500	118,9	144,1	121,1
137	324500	4716500	117,2	123,0	120,2
138	325500	4716500	108,5	123,4	120,0
139	326500	4716500	110,5	123,4	118,2
140	327500	4716500	115,7	136,1	121,7
141	328500	4716500	117,1	128,0	124,7
142	329500	4716500	109,9	129,0	125,9
143	330500	4716500	116,2	128,6	120,2
144	331500	4716500	117,3	141,9	122,9
145	332500	4716500	122,6	132,8	128,4
146	333500	4716500	120,3	134,5	131,1
147	334500	4716500	128,0	133,7	129,7

148	314500	4717500	124,8	130,6	128,5
149	315500	4717500	121,4	129,7	126,4
150	316500	4717500	121,4	129,7	125,8
151	317500	4717500	124,1	134,7	129,3
152	318500	4717500	128,2	137,4	133,0
153	319500	4717500	129,3	190,6	134,1
154	320500	4717500	119,6	134,4	132,2
155	321500	4717500	102,3	133,3	126,4
156	322500	4717500	119,9	133,7	121,9
157	323500	4717500	120,2	131,5	124,5
158	324500	4717500	120,9	137,0	125,2
159	325500	4717500	117,1	126,3	122,4
160	326500	4717500	114,5	123,4	118,2
161	327500	4717500	112,8	122,3	117,3
162	328500	4717500	116,0	126,3	119,2
163	329500	4717500	114,6	126,3	121,0
164	330500	4717500	119,5	126,4	123,2
165	331500	4717500	108,3	130,0	126,0
166	332500	4717500	126,7	137,1	130,0
167	333500	4717500	127,5	164,2	131,8
168	334500	4717500	126,7	174,3	130,1
169	322500	4719500	123,1	134,0	129,2
170	331500	4722500	123,8	127,3	125,7
171	321500	4718500	122,5	134,6	128,1
172	327500	4724500	120,3	124,6	122,3

173	327500	4720500	117,1	125,7	120,9
174	330500	4718500	122,3	129,1	125,1
175	331500	4724500	120,1	123,4	121,5
176	331500	4723500	121,2	126,2	124,3
177	326500	4718500	115,0	119,4	117,1
178	326500	4721500	115,3	123,6	120,6
179	324500	4719500	123,3	127,7	125,9
180	332500	4724500	120,5	125,5	122,7
181	314500	4721500	107,2	114,0	110,7
182	328500	4722500	120,7	126,2	123,4
183	331500	4721500	125,3	130,5	127,2
184	319500	4718500	128,2	133,7	130,9
185	316500	4719500	107,6	117,0	111,7
186	326500	4719500	114,4	121,4	118,7
187	319500	4722500	122,8	129,4	126,5
188	320500	4721500	122,7	128,7	126,0
189	316500	4720500	106,4	113,6	109,9
190	317500	4718500	114,5	129,9	122,0
191	322500	4718500	122,5	131,6	127,8
192	325500	4720500	114,2	125,0	119,4
193	334500	4718500	131,5	135,7	135,3
194	334500	4723500	125,2	126,1	125,5
195	329500	4718500	116,5	129,1	123,9
196	332500	4718500	126,4	133,1	129,6
197	314500	4724500	120,7	123,7	122,4

198	323500	4722500	118,1	127,0	123,3
199	314500	4725500	120,1	123,7	121,5
200	334500	4725500	123,9	127,4	125,7
201	333500	4718500	131,0	135,7	134,1
202	320500	4723500	121,0	128,4	124,8
203	324500	4718500	123,9	131,5	127,5
204	315500	4725500	119,5	125,7	122,7
205	322500	4721500	114,2	124,8	120,1
206	314500	4722500	110,6	118,4	114,6
207	318500	4719500	116,3	128,2	119,9
208	318500	4725500	122,1	126,4	124,4
209	330500	4720500	127,5	132,3	128,7
210	321500	4722500	118,3	124,6	121,7
211	318500	4724500	121,8	128,9	125,5
212	323500	4721500	115,1	126,2	120,3
213	315500	4721500	106,8	118,9	111,0
214	324500	4720500	119,5	127,4	124,6
215	316500	4722500	115,8	124,4	120,9
216	323500	4719500	122,7	131,5	125,1
217	324500	4725500	123,6	131,1	126,9
218	321500	4725500	120,1	124,8	122,7
219	318500	4723500	121,8	128,9	124,7
220	333500	4719500	125,5	135,7	130,3
221	318500	4720500	114,1	120,2	117,6
222	332500	4722500	125,2	128,6	127,0

223	329500	4723500	121,6	125,0	123,4
224	316500	4724500	119,6	126,0	122,9
225	330500	4723500	121,2	126,2	123,8
226	320500	4718500	127,5	136,3	133,5
227	330500	4725500	120,1	123,0	121,6
228	317500	4723500	121,0	125,4	123,0
229	328500	4723500	122,1	126,5	124,3
230	332500	4719500	124,8	131,1	127,1
231	328500	4720500	119,9	128,9	124,4
232	329500	4719500	123,8	129,4	127,4
233	325500	4718500	117,1	129,5	122,3
234	321500	4721500	118,9	127,7	122,2
235	334500	4722500	126,1	127,8	126,7
236	331500	4725500	120,9	126,1	123,1
237	323500	4725500	125,1	132,2	128,6
238	323500	4720500	116,7	126,2	122,5
239	314500	4718500	112,5	126,9	117,9
240	317500	4721500	113,0	121,3	117,6
241	322500	4720500	116,7	130,3	123,7
242	329500	4720500	126,1	129,7	127,6
243	327500	4719500	115,0	121,9	118,1
244	334500	4720500	127,3	131,2	129,1
245	327500	4721500	118,2	123,1	120,8
246	332500	4723500	123,4	127,0	125,0
247	323500	4723500	122,3	131,0	126,5

248	325500	4725500	120,3	125,4	122,5
249	316500	4718500	114,4	126,6	119,3
250	314500	4723500	116,1	121,2	120,3
251	325500	4721500	113,6	121,9	116,7
252	315500	4722500	110,6	121,7	116,3
253	324500	4724500	123,6	131,1	128,5
254	317500	4724500	119,3	127,0	122,8
255	321500	4723500	118,8	126,6	122,8
256	320500	4719500	123,8	133,6	128,5
257	326500	4725500	118,8	122,4	121,0
258	331500	4719500	124,3	132,3	127,6
259	333500	4723500	125,3	127,5	126,2
260	320500	4722500	122,5	130,2	126,4
261	316500	4721500	108,1	121,3	115,3
262	316500	4725500	116,3	123,9	119,9
263	323500	4724500	126,6	132,5	130,2
264	332500	4725500	119,6	126,1	122,4
265	318500	4721500	114,8	122,8	118,9
266	324500	4723500	122,3	131,0	126,3
267	314500	4719500	111,0	115,2	111,9
268	322500	4723500	122,6	126,7	124,9
269	334500	4719500	127,3	135,7	132,7
270	328500	4721500	120,7	126,9	124,8
271	334500	4724500	123,3	125,3	124,1
272	324500	4721500	115,4	126,2	120,4

273	330500	4721500	123,0	128,0	126,6
274	316500	4723500	115,4	122,4	118,8
275	325500	4724500	118,7	128,4	122,3
276	320500	4720500	119,1	131,8	126,7
277	319500	4719500	120,2	133,6	127,6
278	333500	4725500	120,5	125,5	123,3
279	327500	4722500	117,7	124,9	121,4
280	325500	4722500	115,4	125,1	120,6
281	327500	4725500	119,5	122,7	121,0
282	331500	4720500	127,7	132,4	129,9
283	321500	4724500	118,8	128,3	123,0
284	314500	4720500	108,6	111,0	110,3
285	328500	4725500	120,5	124,3	122,2
286	320500	4724500	121,7	126,9	123,7
287	329500	4724500	122,3	125,6	124,1
288	320500	4725500	120,5	125,3	122,3
289	330500	4722500	123,3	127,9	125,7
290	317500	4725500	118,1	126,1	122,1
291	329500	4725500	121,1	124,8	123,0
292	325500	4719500	115,2	127,0	122,3
293	322500	4722500	118,9	125,9	123,7
294	330500	4719500	124,3	132,3	128,7
295	333500	4724500	120,5	125,5	123,4
296	322500	4724500	122,9	129,7	126,4
297	329500	4722500	122,0	126,7	124,2

298	321500	4720500	121,8	130,4	126,8
299	332500	4721500	124,6	130,6	127,5
300	327500	4723500	116,8	124,9	120,9
301	317500	4720500	108,2	117,6	113,1
302	333500	4720500	125,4	131,2	128,2
303	328500	4718500	116,3	123,8	119,0
304	326500	4724500	117,2	122,4	120,1
305	328500	4719500	118,2	127,0	121,9
306	315500	4718500	111,5	126,4	119,3
307	333500	4722500	125,8	128,6	126,9
308	318500	4718500	118,8	130,6	127,4
309	334500	4721500	127,8	131,2	130,3
310	317500	4719500	108,6	118,8	114,8
311	323500	4718500	125,6	133,2	129,5
312	319500	4724500	124,1	129,4	127,1
313	328500	4724500	121,2	125,3	123,2
314	329500	4721500	123,0	127,7	125,7
315	330500	4724500	120,7	124,8	123,0
316	317500	4722500	119,7	125,1	122,5
317	333500	4721500	127,3	132,6	129,9
318	319500	4721500	119,2	128,7	124,2
319	319500	4720500	117,8	125,3	120,6
320	322500	4725500	120,8	128,6	124,4
321	315500	4724500	120,5	123,9	122,4
322	321500	4719500	126,5	134,2	129,8

323	327500	4718500	115,2	119,7	117,7
324	326500	4723500	116,2	120,3	118,5
325	319500	4725500	121,4	127,8	125,0
326	324500	4722500	114,0	127,4	120,6
327	332500	4720500	125,5	130,8	128,7
328	315500	4723500	115,4	121,2	118,8
329	315500	4720500	108,9	111,3	110,1
330	315500	4719500	108,9	117,0	111,3
331	318500	4722500	120,8	127,5	124,1
332	326500	4722500	117,3	122,5	120,0
333	325500	4723500	118,7	125,7	121,7
334	331500	4718500	124,3	130,5	126,7
335	326500	4720500	115,0	125,6	120,1
336	319500	4723500	125,3	131,2	128,7
337	330500	4730500	122,3	128,1	124,7
338	314500	4728500	121,1	123,0	121,9
339	316500	4726500	116,3	125,4	121,0
340	319500	4731500	119,6	122,6	120,8
341	331500	4726500	121,5	126,1	123,5
342	334500	4729500	118,9	120,2	119,5
343	329500	4727500	119,1	126,7	122,0
344	318500	4732500	121,0	123,1	122,2
345	334500	4732500	120,7	121,8	121,2
346	332500	4727500	119,0	126,4	122,6
347	317500	4729500	120,3	124,5	122,6

348	315500	4728500	120,6	123,5	122,1
349	319500	4730500	119,6	124,0	121,8
350	334500	4730500	117,6	121,3	118,3
351	318500	4730500	120,4	123,3	121,4
352	321500	4733500	125,4	126,4	126,2
353	324500	4730500	119,6	127,8	123,8
354	334500	4728500	119,0	120,3	119,7
355	333500	4729500	116,3	123,5	118,6
356	322500	4733500	123,2	126,0	125,2
357	319500	4728500	121,8	125,4	123,6
358	334500	4726500	118,4	124,7	119,7
359	331500	4733500	120,2	122,8	122,0
360	320500	4726500	119,4	126,2	122,2
361	325500	4733500	124,9	125,5	125,1
362	328500	4727500	119,0	122,5	121,0
363	315500	4730500	121,1	125,0	123,2
364	324500	4727500	119,5	123,4	121,0
365	333500	4728500	116,7	121,0	119,1
366	314500	4729500	122,2	123,4	122,9
367	325500	4728500	118,7	121,2	120,0
368	316500	4733500	119,8	123,0	121,9
369	333500	4731500	119,3	122,2	120,9
370	316500	4732500	119,8	124,8	122,2
371	332500	4726500	121,8	126,4	124,4
372	330500	4731500	119,2	128,3	124,7

373	325500	4726500	119,3	126,1	122,4
374	323500	4731500	123,4	130,8	128,0
375	324500	4733500	123,9	126,3	125,2
376	316500	4731500	122,2	126,5	124,0
377	332500	4730500	120,6	125,2	122,6
378	322500	4729500	122,1	125,4	123,8
379	324500	4731500	120,0	127,2	122,5
380	315500	4727500	121,7	127,1	123,6
381	317500	4733500	119,8	122,8	121,1
382	320500	4730500	119,7	127,8	124,3
383	323500	4730500	125,4	130,8	127,7
384	331500	4732500	119,4	122,3	120,9
385	318500	4726500	122,3	126,6	124,8
386	333500	4730500	119,0	124,9	122,1
387	322500	4730500	123,4	130,8	127,3
388	321500	4730500	124,4	128,9	126,5
389	326500	4730500	119,9	126,8	123,4
390	333500	4726500	118,4	126,7	123,3
391	322500	4726500	119,5	125,6	122,7
392	324500	4732500	120,0	125,8	123,7
393	328500	4729500	120,4	129,6	125,5
394	318500	4733500	121,7	122,8	122,5
395	326500	4731500	124,1	131,8	127,3
396	317500	4727500	119,6	123,8	121,9
397	322500	4732500	123,2	130,2	127,1

398	330500	4728500	124,1	127,3	125,7
399	315500	4726500	120,2	127,1	124,0
400	326500	4732500	123,2	131,7	127,0
401	327500	4733500	130,3	131,7	130,9
402	323500	4733500	123,6	126,0	125,0
403	326500	4728500	118,3	121,2	119,7
404	330500	4726500	121,3	124,5	122,7
405	327500	4726500	120,3	123,4	121,7
406	320500	4728500	119,9	124,9	122,3
407	329500	4730500	123,2	129,8	127,2
408	323500	4729500	120,0	127,2	124,9
409	317500	4732500	119,8	123,3	121,7
410	328500	4732500	126,7	131,0	128,7
411	321500	4727500	117,6	123,3	120,2
412	327500	4730500	122,0	129,3	126,5
413	331500	4728500	120,8	127,3	124,2
414	327500	4731500	126,8	133,0	129,4
415	327500	4728500	116,4	121,8	118,7
416	321500	4726500	116,7	122,2	119,7
417	332500	4731500	119,2	123,4	121,6
418	320500	4732500	121,0	127,2	124,4
419	314500	4731500	121,1	122,6	121,6
420	321500	4729500	122,2	127,9	125,5
421	319500	4727500	123,4	127,4	125,0
422	334500	4733500	120,4	121,8	121,0

423	333500	4727500	118,0	126,4	119,9
424	329500	4726500	120,1	123,7	121,6
425	325500	4730500	119,9	126,1	122,8
426	334500	4731500	120,8	122,0	121,5
427	318500	4729500	121,2	125,4	123,6
428	321500	4732500	125,2	130,5	126,6
429	325500	4727500	118,4	122,2	120,1
430	324500	4728500	119,6	122,6	120,9
431	320500	4731500	119,8	129,7	122,9
432	329500	4728500	121,5	125,2	123,8
433	331500	4729500	120,6	125,4	123,6
434	333500	4733500	119,9	122,0	120,7
435	330500	4727500	120,9	126,6	123,6
436	318500	4727500	121,5	126,3	123,8
437	331500	4731500	118,8	124,2	120,9
438	322500	4728500	120,2	126,1	122,7
439	326500	4726500	119,3	123,5	121,2
440	316500	4728500	120,4	124,7	122,7
441	314500	4726500	121,6	128,0	125,3
442	319500	4733500	121,1	123,3	122,2
443	320500	4729500	121,2	128,3	123,3
444	314500	4730500	121,1	123,4	122,3
445	319500	4729500	121,8	125,0	123,4
446	329500	4731500	126,2	130,5	127,8
447	318500	4728500	120,4	124,0	122,7

448	317500	4726500	118,9	126,1	123,1
449	318500	4731500	120,7	123,2	122,1
450	332500	4733500	119,9	123,5	121,9
451	325500	4732500	122,9	125,5	124,9
452	323500	4728500	116,9	125,7	120,4
453	329500	4732500	127,4	129,2	128,3
454	320500	4733500	121,1	126,5	124,9
455	332500	4728500	115,1	124,0	119,8
456	325500	4729500	116,9	120,7	119,4
457	319500	4732500	120,4	122,8	121,6
458	316500	4729500	122,5	125,6	124,0
459	316500	4727500	120,4	124,2	122,6
460	323500	4726500	121,7	128,3	124,7
461	328500	4731500	126,2	129,5	127,9
462	320500	4727500	119,4	126,4	123,8
463	317500	4728500	120,2	127,1	123,4
464	326500	4727500	118,2	121,6	119,5
465	315500	4731500	120,2	125,0	122,3
466	325500	4731500	121,7	126,1	123,6
467	327500	4732500	128,8	133,0	131,2
468	314500	4727500	122,3	127,1	124,7
469	329500	4729500	123,0	128,1	124,8
470	328500	4726500	120,1	122,2	121,2
471	332500	4729500	116,7	127,2	122,6
472	324500	4726500	121,7	129,0	125,2

473	324500	4729500	116,9	127,2	120,6
474	315500	4733500	123,0	123,8	123,3
475	331500	4727500	119,3	125,0	121,9
476	327500	4729500	117,7	126,9	121,2
477	331500	4730500	120,6	127,6	124,4
478	333500	4732500	119,9	122,0	121,1
479	315500	4732500	122,6	124,4	123,3
480	330500	4733500	120,2	128,4	123,0
481	323500	4732500	123,1	130,2	125,1
482	332500	4732500	119,1	122,7	120,7
483	321500	4731500	125,6	130,5	128,8
484	322500	4727500	118,2	123,1	120,7
485	328500	4728500	119,8	124,9	121,9
486	330500	4732500	120,2	128,4	123,9
487	330500	4729500	122,1	126,7	124,0
488	315500	4729500	121,4	123,0	122,3
489	326500	4729500	117,7	122,0	119,9
490	314500	4733500	121,9	122,7	122,0
491	319500	4726500	121,4	127,0	124,1
492	327500	4727500	118,3	122,2	120,3
493	316500	4730500	121,0	125,4	122,9
494	314500	4732500	121,6	122,7	122,7
495	321500	4728500	119,1	124,7	121,4
496	317500	4731500	121,1	122,8	122,1
497	326500	4733500	124,1	130,5	126,6

498	334500	4727500	117,8	119,2	118,4
499	328500	4730500	125,4	129,9	127,6
500	328500	4733500	127,9	131,0	130,4
501	323500	4727500	119,5	123,4	121,8
502	322500	4731500	127,3	130,8	128,7
503	317500	4730500	120,8	123,6	122,1
504	329500	4733500	127,9	129,0	128,3

Anexo 21. Parámetros de las distribuciones teóricas para la precipitación promedio de Barruera-Vielha

#	Distribución	Parámetros
1	Beta	$\alpha_1=5318,0$ $\alpha_2=6090,4$ $a=-284,37$ $b=591,78$
2	Burr	$k=0,90619$ $\alpha=57,302$ $\beta=123,63$
3	Burr (4P)	$k=0,3807$ $\alpha=0,96986$ $\beta=1,0251$ $\gamma=109,9$
4	Cauchy	$\sigma=2,262$ $\mu=123,62$
5	Chi-Squared	$v=124$
6	Chi-Squared (2P)	$v=16$ $\gamma=107,7$
7	Dagum	$k=1,0483$ $\alpha=54,368$ $\beta=123,8$
8	Dagum (4P)	$k=2,0502$ $\alpha=143,73$ $\beta=451,45$ $\gamma=-330,42$
9	Erlang	$m=916$ $\beta=0,13541$
10	Erlang (3P)	$m=230$ $\beta=0,27235$ $\gamma=61,419$
11	Error	$k=1,359$ $\sigma=4,0985$ $\mu=124,05$
12	Error Function	$h=0,17253$
13	Exponential	$\lambda=0,00806$
14	Exponential (2P)	$\lambda=0,07069$ $\gamma=109,9$
15	Fatigue Life	$\alpha=0,03312$ $\beta=123,98$
16	Fatigue Life (3P)	$\alpha=0,00604$ $\beta=677,55$ $\gamma=-553,51$

17	Frechet	$\alpha=36,691$ $\beta=122,04$
18	Frechet (3P)	$\alpha=5,0214E+8$ $\beta=2,1874E+9$ $\gamma=-2,1874E+9$
19	Gamma	$\alpha=916,06$ $\beta=0,13541$
20	Gamma (3P)	$\alpha=275,39$ $\beta=0,248$ $\gamma=55,747$
21	Gen. Extreme Value	$k=-0,22868$ $\sigma=3,8524$ $\mu=122,55$
22	Gen. Gamma	$k=1,175$ $\alpha=835,9$ $\beta=0,13541$
23	Gen. Gamma (4P)	$k=1,1914$ $\alpha=176,76$ $\beta=0,853$ $\gamma=58,397$
24	Gen. Logistic	$k=0,03111$ $\sigma=2,2462$ $\mu=123,93$
25	Gen. Pareto	$k=-0,87931$ $\sigma=12,174$ $\mu=117,57$
26	Gumbel Max	$\sigma=3,1956$ $\mu=122,2$
27	Gumbel Min	$\sigma=3,1956$ $\mu=125,89$
28	Hypersecant	$\sigma=4,0985$ $\mu=124,05$
29	Inv. Gaussian	$\lambda=1,1363E+5$ $\mu=124,05$
30	Inv. Gaussian (3P)	$\lambda=4,9366E+6$ $\mu=437,61$ $\gamma=-313,56$
31	Johnson SU	$\gamma=0,10557$ $\delta=2,2164$ $\lambda=8,1665$ $\xi=124,48$
32	Kumaraswamy	$\alpha_1=4,7181$ $\alpha_2=482,88$ $a=106,11$ $b=178,41$
33	Laplace	$\lambda=0,34506$ $\mu=124,05$

34	Levy	$\sigma=123,91$
35	Levy (2P)	$\sigma=11,796 \quad \gamma=109,37$
36	Log-Gamma	$\alpha=21144,0 \quad \beta=2,2796E-4$
37	Log-Logistic	$\alpha=53,74 \quad \beta=123,95$
38	Log-Logistic (3P)	$\alpha=86,835 \quad \beta=194,98 \quad \gamma=-71,014$
39	Log-Pearson 3	$\alpha=70,142 \quad \beta=-0,00396 \quad \gamma=5,0977$
40	Logistic	$\sigma=2,2596 \quad \mu=124,05$
41	Lognormal	$\sigma=0,03312 \quad \mu=4,8201$
42	Lognormal (3P)	$\sigma=0,03043 \quad \mu=4,9051 \quad \gamma=-10,985$
43	Nakagami	$m=229,92 \quad \Omega=15404,0$
44	Normal	$\sigma=4,0985 \quad \mu=124,05$
45	Pareto	$\alpha=8,2962 \quad \beta=109,9$
46	Pareto 2	$\alpha=91,198 \quad \beta=11196,0$
47	Pearson 5	$\alpha=909,56 \quad \beta=1,1270E+5$
48	Pearson 5 (3P)	$\alpha=423,18 \quad \beta=36114,0 \quad \gamma=38,401$
49	Pearson 6	$\alpha_1=10,253 \quad \alpha_2=5,6803E+8 \quad \beta=7,2176E+9$
50	Pearson 6 (4P)	$\alpha_1=24353,0 \quad \alpha_2=3229,6$ $\beta=29,232 \quad \gamma=-96,455$
51	Pert	$m=124,45 \quad a=109,22 \quad b=136,83$
52	Phased Bi-Exponential	$\lambda_1=0,02839 \quad \gamma_1=109$

		$\lambda_2=0,62944$ $\gamma_2=14,2$
53	Phased Bi-Weibull	$\alpha_1=1,0192$ $\beta_1=248,9$ $\gamma_1=109$ $\alpha_2=4,6802$ $\beta_2=16,414$ $\gamma_2=7,7$
54	Power Function	$\alpha=1,4243$ $a=109,84$ $b=136,6$
55	Rayleigh	$\sigma=98,975$
56	Rayleigh (2P)	$\sigma=10,45$ $\gamma=109,85$
57	Reciprocal	$a=109,9$ $b=136,6$
58	Rice	$v=121,77$ $\sigma=3,7134$
59	Student's t	$v=2$
60	Triangular	$m=124,0$ $a=109,74$ $b=136,73$
61	Uniform	$a=116,95$ $b=131,15$
62	Wakeby	$\alpha=148,47$ $\beta=18,066$ $\gamma=5,6707$ $\delta=-0,31548$ $\xi=111,95$
63	Weibull	$\alpha=37,274$ $\beta=125,87$
64	Weibull (3P)	$\alpha=4,7375$ $\beta=19,488$ $\gamma=106,14$
65	Johnson SB	No hay ajuste

Anexos: Zona Berga-Cercs

Anexo 22. Inventario de movimientos en masa de Berga-Cercs

Id_MM	X_UTM_mE	Y_UTM_mN
1	405161	4662764
2	405195	4662767
3	405204	4662760
4	405204	4662770
5	405227	4662775
6	405238	4662790
7	405247	4662788
8	405248	4662782
9	405303	4662756
10	405310	4662748
11	405305	4662701
12	405201	4662682
13	405179	4662669
14	405244	4662688
15	405237	4662687
16	405243	4662683
17	405254	4662677
18	405230	4662665
19	405238	4662665
20	405241	4662660
21	405204	4662648

22	405192	4662631
23	405201	4662625
24	405228	4662653
25	405399	4662710
26	405339	4662745
27	405346	4662765
28	405323	4662823
29	405349	4662834
30	405364	4662824
31	405356	4662820
32	405320	4662762
33	405355	4662805
34	405368	4662810
35	405357	4662782
36	405452	4662827
37	405405	4662766
38	405368	4662743
39	405379	4662768
40	405388	4662789
41	405400	4662825
42	405409	4662829
43	405416	4662813
44	405541	4662764
45	405477	4662831
46	405481	4662817

47	405439	4662790
48	405128	4662814
49	405127	4662929
50	405126	4662921
51	405067	4662911
52	405069	4662850
53	405072	4662858
54	405090	4662833
55	405129	4663244
56	405055	4662801
57	405052	4662794
58	405052	4662777
59	405077	4663079
60	405065	4663060
61	405029	4663046
62	405143	4663236
63	405148	4663243
64	405065	4663091
65	405170	4663242
66	405205	4663324
67	405113	4663207
68	405224	4663335
69	405232	4663332
70	404999	4662831
71	405244	4663348

72	405252	4663361
73	405128	4662747
74	405307	4663466
75	405324	4663466
76	405332	4663466
77	405273	4663517
78	405234	4663528
79	405237	4663527
80	405251	4663519
81	405241	4663497
82	405220	4663484
83	405226	4663486
84	405223	4663479
85	405257	4663498
86	405223	4663470
87	405261	4663349
88	405814	4663115
89	405886	4663213
90	405924	4663149
91	406243	4664313
92	406270	4664318
93	406263	4664220
94	405000	4662838
95	404993	4662845
96	404993	4662854

97	404985	4662773
98	405034	4662812
99	405023	4662776
100	405027	4662760
101	404933	4662864
102	404921	4662870
103	404921	4662876
104	404881	4662863
105	404880	4662869
106	404958	4662827
107	404931	4662834
108	404926	4662826
109	404925	4662822
110	404820	4662919
111	404803	4662942
112	404958	4663043
113	404939	4663053
114	404938	4663070
115	404866	4663039
116	404858	4663061
117	404873	4663123
118	404855	4663128
119	404928	4662977
120	405000	4663118
121	404991	4663109

122	404982	4663112
123	404975	4663117
124	404947	4663131
125	404937	4663099
126	404940	4663120
127	404932	4663134
128	404983	4663139
129	404920	4663141
130	404864	4663075
131	404915	4663072
132	404910	4663059
133	404980	4663122
134	405018	4663148
135	405024	4663105
136	404954	4663411
137	404964	4663425
138	404969	4663426
139	404970	4663420
140	404977	4663418
141	404990	4663417
142	404935	4663407
143	404942	4663412
144	404936	4663426
145	404953	4663437
146	404957	4663439

147	404951	4663444
148	404921	4663404
149	404909	4663398
150	404913	4663402
151	404920	4663398
152	404926	4663397
153	404902	4663445
154	404884	4663445
155	404993	4663402
156	404987	4663400
157	405019	4663416
158	405004	4663416
159	404943	4663434
160	404946	4663431
161	404989	4663366
162	404981	4663376
163	404984	4663390
164	404897	4663415
165	404901	4663411
166	404907	4663372
167	404911	4663385
168	404869	4663459
169	404927	4663358
170	404929	4663347
171	404949	4663422

172	404908	4663358
173	404913	4663353
174	404824	4663307
175	404830	4663316
176	404981	4663540
177	404977	4663547
178	404990	4663556
179	404959	4663563
180	404959	4663588
181	404961	4663580
182	404875	4663623
183	404959	4663605
184	404959	4663597
185	404948	4663591
186	404942	4663599
187	404899	4663651
188	404888	4663637
189	404863	4663596
190	404969	4663597
191	404996	4663515
192	405007	4663512
193	405020	4663595
194	405008	4663604
195	405050	4663542
196	405019	4663537

197	405009	4663497
198	404982	4663502
199	404990	4663486
200	404903	4663549
201	404952	4663526
202	408180	4665450
203	408247	4665559
204	405357	4662742
205	405350	4662758
206	405353	4662749
207	405616	4663277
208	406728	4664215
209	404756	4663848
210	404821	4663889
211	406803	4663998
212	404863	4663530
213	404468	4663338
214	405345	4662643
215	404437	4662585
216	404317	4662669
217	404481	4662744
218	404484	4662732
219	404526	4662438
220	404508	4662449
221	404352	4662399

222	404333	4662394
223	404460	4662394
224	404426	4663046

Anexo 23. Parámetros de las distribuciones teóricas para el campo de densidad de movimientos en masa de Barruera-Vielha

#	Distribución	Parámetros
1	Beta	$\alpha_1=0,02139$ $\alpha_2=0,16703$ $a=1,9965E-15$ $b=177,33$
2	Burr	$k=0,00315$ $\alpha=1955,7$ $\beta=1,0986$
3	Burr	$k=0,00275$ $\alpha=473,3$ $\beta=1,0914$
4	Cauchy	$\sigma=1,2269E-4$ $\mu=6,4426E-9$
5	Chi-Squared	$\nu=7$
6	Chi-Squared	$\nu=17$
7	Dagum	$k=139,69$ $\alpha=0,91472$ $\beta=0,00238$
8	Dagum	$k=144,86$ $\alpha=0,9264$ $\beta=0,0039$
9	Error	$k=1,0$ $\sigma=50,131$ $\mu=17,77$
10	Error Function	$h=0,01411$
11	Exponential	$\lambda=0,05627$
12	Exponential (2P)	$\lambda=0,05627$ $\gamma=-1,0000E-14$
13	Fatigue Life	$\alpha=1,6224$ $\beta=7,6767$
14	Fatigue Life	$\alpha=1,6224$ $\beta=7,6767$
15	Frechet	$\alpha=0,90825$ $\beta=3,0161$

16	Frechet	$\alpha=0,68312$ $\beta=0,74691$
17	Gamma	$\alpha=0,38355$ $\beta=92,66$
18	Gamma	$\alpha=0,12565$ $\beta=141,42$
19	Gen. Extreme Value	$k=0,85783$ $\sigma=2,6292$ $\mu=0,66424$
20	Gen. Gamma	$k=0,9698$ $\alpha=0,34535$ $\beta=141,42$
21	Gen. Gamma	$k=0,18592$ $\alpha=9,1142$ $\beta=5,6514E-5$
22	Gen. Logistic	$k=0,85613$ $\sigma=2,6605$ $\mu=1,7396$
23	Gen. Pareto	$k=0,84498$ $\sigma=2,9336$ $\mu=-1,1546$
24	Gumbel Max	$\sigma=39,087$ $\mu=-4,7916$
25	Gumbel Min	$\sigma=39,087$ $\mu=40,332$
26	Hypersecant	$\sigma=50,131$ $\mu=17,77$
27	Inv. Gaussian	$\lambda=3,1734$ $\mu=35,54$
28	Inv. Gaussian	$\lambda=2,2328$ $\mu=17,77$
29	Johnson SB	$\gamma=1,4204$ $\delta=0,17685$ $\lambda=216,97$ $\xi=-1,3231$
30	Kumaraswamy	$\alpha_1=0,03032$ $\alpha_2=0,05789$ $a=1,8088E-15$ $b=268,38$
31	Laplace	$\lambda=0,02821$ $\mu=17,77$
32	Levy	$\sigma=2,9132$

33	Levy	$\sigma=2,9132$
34	Log-Logistic	$\alpha=0,6774 \quad \beta=0,82639$
35	Log-Logistic	$\alpha=1,0679 \quad \beta=4,5956$
36	Logistic	$\sigma=27,639 \quad \mu=17,77$
37	Lognormal	$\sigma=1,7249 \quad \mu=1,8433$
38	Lognormal	$\sigma=1,7249 \quad \mu=1,8433$
39	Normal	$\sigma=50,131 \quad \mu=17,77$
40	Pareto 2	$\alpha=0,25807 \quad \beta=3,7448E-10$
41	Pearson 5	$\alpha=0,77054 \quad \beta=2,2448$
42	Pearson 5	$\alpha=0,77054 \quad \beta=2,2448$
43	Pearson 6	$\alpha_1=472,95 \quad \alpha_2=0,77361 \quad \beta=0,00478$
44	Pearson 6	$\alpha_1=525,91 \quad \alpha_2=0,77692 \quad \beta=0,00427$
45	Phased Bi-Exponential	$\lambda_1=1,0952 \quad \gamma_1=0$ $\lambda_2=0,02395 \quad \gamma_2=1,1$
46	Phased Bi-Weibull	$\alpha_1=1,0413E-4 \quad \beta_1=1,0205 \quad \gamma_1=0$ $\alpha_2=0,29878 \quad \beta_2=2,0995 \quad \gamma_2=2,1$
47	Power Function	$\alpha=0,04373 \quad a=6,5926E-15 \quad b=332,27$
48	Rayleigh	$\sigma=51,993$
49	Rayleigh	$\sigma=14,178$

50	Rice	$\nu=0,00574$ $\sigma=51,993$
51	Student's t	$\nu=2$
52	Uniform	$a=-69,059$ $b=104,6$
53	Wakeby	$\alpha=0$ $\beta=0$ $\gamma=2,9336$ $\delta=0,84498$ $\xi=-1,1546$
54	Weibull	$\alpha=0,25899$ $\beta=1,0283$
55	Weibull	$\alpha=0,51551$ $\beta=16,249$
56	Erlang	No hay ajuste
57	Erlang (3P)	No hay ajuste
58	Johnson SU	No hay ajuste
59	Log-Gamma	No hay ajuste
60	Log-Pearson 3	No hay ajuste
61	Nakagami	No hay ajuste
62	Pareto	No hay ajuste
63	Pert	No hay ajuste
64	Reciprocal	No hay ajuste
65	Triangular	No hay ajuste

Anexo 24. Ranking de las primeras diez (10) distribuciones teóricas para el campo de densidad de roturas de Berga-Cercs

#	Distribución	Kolmogorov Smirnov		Anderson Darling		Chi-cuadrado	
		Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
11	Error	0,07898	1	0,16682	5	0,00476	7
63	Weibull	0,0883	2	0,24806	29	0,03751	9
31	Johnson SB	0,08883	3	0,15801	3	7,8451E-5	1
21	Gen. Extreme Value	0,09228	4	0,1576	1	9,0521E-5	2
62	Wakeby	0,09501	5	0,1579	2	0,00102	4
19	Gamma	0,0958	6	0,20739	19	0,56542	29
48	Pearson 5 (3P)	0,09635	7	0,2062	17	0,58335	31
22	Gen. Gamma	0,09699	8	0,21361	20	0,58737	32
8	Dagum (4P)	0,09713	9	0,25987	30	0,0761	17
20	Gamma (3P)	0,09758	10	0,19321	11	0,60466	35

Anexo 25. Parámetros de las distribuciones teóricas para el campo de precipitaciones de Berga-Cercs

#	Distribución	Parámetros
1	Beta	$\alpha_1=1,237$ $\alpha_2=1,038$ $a=95,68$ $b=203,5$
2	Burr	$k=49,18$ $\alpha=8,4896$ $\beta=276,48$
3	Burr (4P)	$k=0,41456$ $\alpha=0,73471$ $\beta=1,9187$ $\gamma=119,6$
4	Cauchy	$\sigma=15,247$ $\mu=166,25$
5	Chi-Squared	$v=165$
6	Chi-Squared (2P)	$v=260$ $\gamma=-95,412$
7	Dagum	$k=159,25$ $\alpha=2,8386$ $\beta=17,969$
8	Dagum (4P)	$k=3,6456$ $\alpha=45481,0$ $\beta=8,9695E+5$ $\gamma=-8,9682E+5$
9	Erlang	$m=51$ $\beta=3,2274$
10	Erlang (3P)	$m=112$ $\beta=2,1569$ $\gamma=-76,12$
11	Error	$k=2,9027$ $\sigma=23,092$ $\mu=165,22$
12	Error Function	$h=0,03062$
13	Exponential	$\lambda=0,00605$
14	Exponential (2P)	$\lambda=0,02192$ $\gamma=119,6$
15	Fatigue Life	$\alpha=0,14036$ $\beta=163,61$
16	Fatigue Life (3P)	$\alpha=0,00624$ $\beta=3598,4$ $\gamma=-3433,2$

17	Frechet	$\alpha=7,4587$ $\beta=150,84$
18	Frechet (3P)	$\alpha=6,7080E+7$ $\beta=1,4704E+9$ $\gamma=-1,4704E+9$
19	Gamma	$\alpha=51,193$ $\beta=3,2274$
20	Gamma (3P)	$\alpha=137,78$ $\beta=1,953$ $\gamma=-103,85$
21	Gen. Extreme Value	$k=-0,33644$ $\sigma=24,416$ $\mu=157,43$
22	Gen. Gamma	$k=1,0037$ $\alpha=51,941$ $\beta=3,2274$
23	Gen. Gamma (4P)	$k=2,0629$ $\alpha=67,123$ $\beta=49,472$ $\gamma=-214,23$
24	Gen. Logistic	$k=-0,02893$ $\sigma=13,456$ $\mu=165,86$
25	Gen. Pareto	$k=-1,1192$ $\sigma=89,065$ $\mu=123,19$
26	Gumbel Max	$\sigma=18,005$ $\mu=154,83$
27	Gumbel Min	$\sigma=18,005$ $\mu=175,61$
28	Hypersecant	$\sigma=23,092$ $\mu=165,22$
29	Inv. Gaussian	$\lambda=8458,1$ $\mu=165,22$
30	Inv. Gaussian (3P)	$\lambda=1,6036E+7$ $\mu=2013,0$ $\gamma=-1848,0$
31	Johnson SB	$\gamma=-0,32225$ $\delta=1,4294$ $\lambda=147,52$ $\xi=83,997$
32	Kumaraswamy	$\alpha_1=1,0$ $\alpha_2=1,1$ $a=119,6$ $b=203,5$
33	Laplace	$\lambda=0,06124$ $\mu=165,22$

34	Levy	$\sigma=162,01$
35	Levy (2P)	$\sigma=28,803 \quad \gamma=115,42$
36	Log-Gamma	$\alpha=1258,3 \quad \beta=0,00405$
37	Log-Logistic	$\alpha=10,887 \quad \beta=161,77$
38	Log-Logistic (3P)	$\alpha=32460,0 \quad \beta=4,3017E+5 \quad \gamma=-4,3000E+5$
39	Log-Pearson 3	$\alpha=19,51 \quad \beta=-0,03253 \quad \gamma=5,7324$
40	Logistic	$\sigma=12,731 \quad \mu=165,22$
41	Lognormal	$\sigma=0,14007 \quad \mu=5,0977$
42	Lognormal (3P)	$\sigma=0,03956 \quad \mu=6,3489 \quad \gamma=-407,12$
43	Nakagami	$m=13,453 \quad \Omega=27804,0$
44	Normal	$\sigma=23,092 \quad \mu=165,22$
45	Pareto	$\alpha=3,1897 \quad \beta=119,6$
46	Pareto 2	$\alpha=79,274 \quad \beta=13485,0$
47	Pearson 5	$\alpha=50,201 \quad \beta=8133,2$
48	Pearson 5 (3P)	$\alpha=252,03 \quad \beta=91029,0 \quad \gamma=-197,36$
49	Pearson 6	$\alpha_1=1157,6 \quad \alpha_2=52,669 \quad \beta=7,3774$
50	Pearson 6 (4P)	$\alpha_1=18765,0 \quad \alpha_2=11813,0$ $\beta=1215,8 \quad \gamma=-1766,4$
51	Pert	$m=167,06 \quad a=95,68 \quad b=203,5$
52	Phased Bi-Exponential	$\lambda_1=0,01858 \quad \gamma_1=119$

		$\lambda_2=0,06674$ $\gamma_2=43,4$
53	Phased Bi-Weibull	$\alpha_1=0,77348$ $\beta_1=27,977$ $\gamma_1=119$ $\alpha_2=1,6972$ $\beta_2=44,34$ $\gamma_2=65,2$
54	Power Function	$\alpha=1,1592$ $a=118,77$ $b=203,5$
55	Rayleigh	$\sigma=131,83$
56	Rayleigh (2P)	$\sigma=38,953$ $\gamma=114,94$
57	Reciprocal	$a=119,6$ $b=203,5$
58	Rice	$v=208,59$ $\sigma=3,2957$
59	Student's t	$v=2$
60	Triangular	$m=172,56$ $a=95,68$ $b=203,5$
61	Uniform	$a=125,22$ $b=205,22$
62	Wakeby	$\alpha=471,55$ $\beta=14,637$ $\gamma=52,542$ $\delta=-0,68071$ $\xi=103,8$
63	Weibull	$\alpha=7,808$ $\beta=172,95$
64	Weibull (3P)	$\alpha=3,8613$ $\beta=84,369$ $\gamma=89,033$
65	Johnson SU	No hay ajuste

Anexo 26. Ranking de bondad del ajuste del campo de lluvias de Berga-Cercs

#	Distribución	Kolmogorov Smirnov		Anderson Darling		Chi-cuadrado	
		Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
11	Error	0,07898	1	0,16682	5	0,00476	7
63	Weibull	0,0883	2	0,24806	29	0,03751	9
31	Johnson SB	0,08883	3	0,15801	3	7,8451E-5	1
21	Gen. Extreme Value	0,09228	4	0,1576	1	9,0521E-5	2
62	Wakeby	0,09501	5	0,1579	2	0,00102	4
19	Gamma	0,0958	6	0,20739	19	0,56542	29
48	Pearson 5 (3P)	0,09635	7	0,2062	17	0,58335	31
22	Gen. Gamma	0,09699	8	0,21361	20	0,58737	32
8	Dagum (4P)	0,09713	9	0,25987	30	0,0761	17
20	Gamma (3P)	0,09758	10	0,19321	11	0,60466	35

Done